



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO  
VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA.**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autores:**

Tisalema Til Franklin Elías

Torres Jumbo Jairo Giovanni

**Tutor Académico:**

Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios M.Sc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**AGOSTO - 2022**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Torres Jumbo Jairo Giovanny**, con cédula de ciudadanía No **2100625447**; **Tisalema Til Franklin Elías**, con cédula de ciudadanía No **1805220348**, de la carrera de Electricidad declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA**”, siendo **Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MsC.** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

**Torres Jumbo Jairo Giovanny**  
**2100625447**  
Latacunga, 10 de agosto atrás de la UTC.  
0999626700  
jairo.torres5447@utc.edu.ec

**Tisalema Til Franklin Elías**  
**1805220348**  
Chibuleo, San Pedro  
0992935103  
franklin.tisalema0348@utc.edu.ec

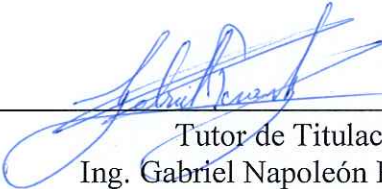


## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA”** de **TISALEMA TIL FRANKLIN ELÍAS** con cédula de ciudadanía No. **1805220348** y **TORRES JUMBO JAIRO GIOVANNY** con cédula de ciudadanía No. **2100625447** de la carrera de **INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la **FACULTAD DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI** designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2022



---

Tutor de Titulación  
Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios  
CC: 030189388-9



## APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Y POR LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, los postulantes **TISALEMA TIL FRANKLIN ELIAS** y **TORRES JUMBO JAIRO GIOVANNY** con el título de Proyecto de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto. Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 01 de septiembre 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)  
Ing. MSc. Corales Bastidas Byron Paul  
CC: 05234776-8

Lector 2  
Ing. MSc. Suárez Vinueza Rommel Eusebio  
CC: 180416535-3

Lector 3  
Ing. MSc. Jiménez Jiménez Diego Leonardo  
CC:0503493702

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por cuidarme en cada paso que he dado y ayudarme a superar otra etapa de mi vida. Dedicado a mis compañeros de la universidad que compartimos nuestras alegrías y tristezas, y estudiamos y nos superamos día tras día. Gracias a mis queridos amigos que me apoyaron en las buenas y en las malas, y les debo mucho por lo que estoy muy agradecido.

La Universidad Tecnológica de Cotopaxi, junto a sus docentes, lograron desarrollarme como persona y profesional, sin olvidar nunca que “un gran poder conlleva una gran responsabilidad”.

**Tisalema Til Franklin**

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera agradecer en primer lugar a dios y la virgen del cisne por mantenernos vivos hasta ahora a mi madre (Mirian) como a mí, ya que veces he vuelto desde el más allá y llegado a mi cuarto sano y salvo, agradezco particular a mis tías (Deisy, Flor) que fueron pilares y nunca dieron el brazo a torcer ni por que todas las cosas me iba mal ellas siempre estuvieron apoyándome y defendiéndome y por su puesto a mi madre que tampoco se rindió conmigo en las buenas y malas, quisiera agradecer a mis abuelos pero ya no están ahora conmigo pero desde el cielo me cuidan y me ayudan ser una buena persona.

Sin faltar quisiera agradecer a mis compañeros y amigos que han estado conmigo en la buenas y las malas, aunque ya no están, pero siempre seremos buenos amigos (Marco, Andy) y los otros que, aunque nos llevamos después se hizo como una fraternidad como grupo (Til, Sabando, Aguirre, Tayupanda, Toaquiza y Carrillo).

También quisiera agradecer a mi tutor que, aunque le sacamos colorín siempre ha estado ayudándonos en este sufrir de la tesis, a la Universidad que con sus enseñanzas supieron fortalecer los conocimientos y lo más principal se puede encontrar personas de buen corazón sin dañar a nadie.

**Torres Jairo Giovanni**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi gran familia. Gracias a mi madre por guiarme por el camino de la justicia, apoyarme, amarme y enseñarme no rendirme. Gracias a mi esposa por ser parte de esta nueva vida y ser mi apoyo fundamental. Gracias a mis hermanos por el gran tiempo que pasamos juntos y por darme un buen ejemplo para mejorar.

**Tisalema Til Franklin**

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la virgencita del Quinche por siempre cuidarme. A mi Madre y a las personas que me acompañaron durante toda mi formación.

**Torres Jairo Giovanni**



## INDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1.	EL PROBLEMA .....	3
2.1.1.	Situación Problemática.....	3
2.1.2.	Formulación del problema.....	3
2.2.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	3
2.3.	BENEFICIARIOS .....	4
2.3.1.	Beneficiarios directos .....	4
2.3.2.	Beneficiarios indirectos .....	4
2.4.	JUSTIFICACIÓN.....	4
2.5.	HIPÓTESIS .....	5
2.6.	OBJETIVOS.....	5
2.6.1.	General .....	5
2.6.2.	Específicos.....	5
2.7.	SISTEMA DE TAREAS .....	5
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	7
3.1.	ANTECEDENTES .....	7
3.2.	HIDRÓGENO .....	8
3.2.1.	Historia. ....	8
3.2.2.	Propiedad del hidrógeno.....	10
3.3.	PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.....	11
3.4.	TIPOS DE ELECTROLIZADORES. ....	12
3.5.	ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO.....	13
3.5.1.	Almacenamiento de hidrógeno gaseoso. ....	13
3.5.2.	Almacenamiento de hidrógeno líquido. ....	15
3.6.	MOTOR DE HIDRÓGENO.....	15

3.7. BOMBAS DE AGUA. ....	18
3.8. SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	19
3.8.1. Funcionamiento de un sistema fotovoltaico. ....	19
3.8.2. Capacidad De Producción De Un Sistema Fotovoltaico .....	20
3.8.3. Módulos fotovoltaicos. ....	21
3.8.4. Inclinación de los paneles ( $\beta$ ) y ángulo de azimut( $\alpha$ ) .....	21
3.8.5. Inversor de conexión a la red.....	22
3.8.6. Baterías. ....	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	24
4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	24
4.3. PLANTA DE PRODUCCION DE HIDRÓGENO. ....	24
4.3.1. Producción de hidrógeno (H <sub>2</sub> ) .....	26
4.3.2. Electrolizador.....	27
4.3.3. Tanque de suministro del agua. ....	30
4.3.4. Sistema de Suministro de Agua.....	31
4.3.5. Almacenamiento de Hidrógeno. ....	31
4.3.6. Motor de hidrógeno. ....	34
4.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO. ....	35
4.5. BANCO DE BATERÍAS. ....	41
4.6. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL INVERSOR.....	43
4.7 SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	43
4.7.1. Cálculo de corriente de consumo. ....	44
4.7.2 Dimensionamiento de Los Conductores Y Protecciones. ....	44
4.8. INVERSOR ON-GRID .....	46
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	47
5.1. ESTIMACIÓN DE ÁREA DISPONIBLE PARA EL CASO DE ESTUDIO. ....	47
5.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	48
5.2.1. Generación de hidrógeno.....	49

5.2.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	58
5.2.3. Determinación La Irradiación De La Ubicación. ....	59
5.2.4. Selección del tipo de panel solar. ....	61
5.3. SIMULACIÓN DE CASOS MEDIANTE UN SOFTWARE.....	71
6. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	73
6.1. IMPACTO TÉCNICO.....	73
6.2. IMPACTO ECONOMICO.....	75
6.2.1. Inversión inicial.....	75
6.2.2. Análisis de la inversión y recuperación.....	76
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
8. BIBLIOGRAFIA.....	81
9. ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Métodos de almacenamiento de energía [6].....	8
Figura 3.2. Industrias en el almacenamiento del hidrógeno [9]. .....	9
Figura 3.3. Hidrógeno a partir de las fuentes existentes [3]. .....	10
Figura 3.4. Densidad hidrógeno en función de la presión de almacenamiento [15]. .....	14
Figura 3.5. Tipos de depósitos para el almacenamiento de hidrógeno comprimido [16].....	14
Figura 3.6. Sistema del motor de hidrógeno (pila De Combustible) [16]. .....	16
Figura 3.7. Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones [18].....	18
Figura 3.8. Bomba centrífuga Rotoplas [20]. .....	19
Figura 3.9. Sistema fotovoltaico normal [21].....	19
Figura 3.10. Trayectorias Que Siguen Los Rayos Solares [25].....	20
Figura 3.11. Hora Solar Pico [23], [25], [26]. .....	20
Figura 3.12. Inclinação del panel fotovoltaico [25]. .....	22
Figura 3.13. Batería Solar de GEL vida útil prolongada 150Ah/12VDC [36].....	23
Figura 4.1. Producción y Almacenamiento de Hidrógeno. ....	25
Figura 4.2. Electrolisis [13]. .....	27
Figura 4.3. Dependencia del voltaje reversible y termo neutro con la temperatura [16]. .....	28
Figura 4.4. Sistema de producción de hidrógeno. ....	30
Figura 4.5. proceso de recirculación del agua .....	31
Figura 4.6. Diagrama desarrollado para el sistema fotovoltaico. ....	36
Figura 4.7. Proceso De Resolución Del Consumo Energético Real [31]. .....	36
Figura 4.8. Proceso Para La Selección Del Paneles Fotovoltaico [31]. .....	39
Figura 4.9. Diagrama De Flujos De Dimensionamiento De La Baterías [31].....	41
Figura 4.10. Flujograma Para La Distancia Entre Elementos [31].....	43
Figura 4.11. inversor On Grid [37].....	46

Figura 5.1. Ubicación de la panadería y pastelería “Sabor”.....	47
Figura 5.2. Curva de la demanda diaria del local comercial. ....	48
Figura 5.3. Flujograma para determinar la potencia de los equipos requeridos.....	49
Figura 5.4. Dimensiones del electrolizador marca Protón [38].....	51
Figura 5.5. Dimensiones del tanque de almacenamiento [39].....	52
Figura 5.6. Dimensiones de la bomba [40].....	53
Figura 5.7. Dimensiones de la separadora [40]. ....	53
Figura 5.8. Dimensiones del Secador [40]. ....	55
Figura 5.9. Dimensiones del Tanque de Almacenamiento [40]. ....	56
Figura 5.10. Flujograma para determinar la potencia de los equipos requeridos.....	58
Figura 5.11. Panel solar 400Wp /24VDC Mono cristalino [43].....	62
Figura 5.12. Dimensionamiento de la batería.....	67
Figura 5.13. Sistema propuesto en Homer Pro.....	71
Figura 5.14. presupuesto de Homer pro .....	72
Figura 6.1. Proceso Técnico a realizar producción y almacenamiento y la red eléctrica.....	73
Figura 6.2. Proceso de generación al tablero de transferencia para la demanda. ....	73
Figura 6.3. Diseño del funcionamiento del Sistema de Producción de Hidrógeno. ....	74
Figura 6.4. Ubicación de los paneles para el caso uno. ....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Tabla de inclinación de latitud de radiación [30].	21
Tabla 4.1. Conversión de entalpia y entropía estándar en condiciones nominales [8].	27
Tabla 4.2. Factores De Corrección De Capacidad Para Condiciones De Operación.	33
Tabla 4.3. Factores De Corrección De Capacidad Para La Temperatura Ambiente.	33
Tabla 4.4. Caída De Tensión Máxima Admisible [31].	46
Tabla 5.1. Latitud y Longitud De La Panadería y Pastelería “Sabor”	47
Tabla 5.2. Tipos de electrolizador recomendable[38]	50
Tabla 5.3. Ficha técnica del electrolizador [38].	51
Tabla 5.4. Ficha tanque de almacenamiento [39].	52
Tabla 5.5. Ficha técnica de la bomba de agua lo más principal [40].	52
Tabla 5.6. Ficha Técnica Separadora De Gas.	53
Tabla 5.7. Parámetro de resultados de secador de gas.	54
Tabla 5.8. Tipos de secadores de gas.	54
Tabla 5.9. Ficha técnica modelo para el secador de gas.	55
Tabla 5.10. Tipos de tanque de almacenamiento de baja presión.	56
Tabla 5.11. Ficha técnica del tanque de almacenamiento.	56
Tabla 5.12. Tipos de motores de hidrogeno	57
Tabla 5.13. Ficha técnica del motor de hidrógeno (pila de combustible) [41].	57
Tabla 5.14. Tabla de demandas para el sistema fotovoltaico.	58
Tabla 5.15. Año De Irradiación Promedio Diaria [42].	59
Tabla 5.16. Resultados de las energías totales del SF.	61
Tabla 5.17. Ficha Técnica De Paneles Fotovoltaicos [43].	61
Tabla 5.18. Resultados de las energías totales del SF.	64
Tabla 5.19. Ficha Técnica De La Batería Solar de GEL[36].	65

Tabla 5.20. Resultados del banco de baterías.....	66
Tabla 5.21. Resultados del inversor. ....	67
Tabla 5.22. Resultados de la corriente de consumo. ....	69
Tabla 5.23. Longitud y la corriente para dimensionar el sistema fotovoltaico. ....	70
Tabla 5.24. Resultados de la sección de conductor para el diseño.....	70
Tabla 5.25. Comparación de resultados.....	72
Tabla 6.1. Egresos del Proyecto del Diseño. ....	75
Tabla 6.2. Egresos para un Sistema Fotovoltaico.....	76
Tabla 6.3 Costo Total de la Inversión para el Estudio.....	76
Tabla 6.4. Facturación Anual de Energía para el Establecimiento.....	77
Tabla 6.5. Factibilidad Económica del Proyecto.....	78

## RESUMEN

**TEMA:** “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA”

**Autores:**

Tisalema Til Franklin Elías

Torres Jumbo Jairo Giovanni

Este documento persiguió como objetivo el estudio de las energías renovables, enfocándose en un sistema de almacenamiento alternativo, para ello se propuso generar el hidrógeno mediante la electrolisis del agua, posteriormente es almacenado y se puede usarlo para generar electricidad mediante un motor de hidrógeno. La planta de producción de Hidrógeno (PPH) utilizara como fuente de energía un sistema compuesto por paneles fotovoltaicos.

En este contexto se propuso el desarrollo de una metodología para el diseño de las diferentes etapas y elección de los principales elementos que componen una planta de hidrógeno, de la misma forma se considera dimensionar un sistema fotovoltaico con el fin de garantizar la producción del Hidrógeno verde.

Se aplicó la metodología propuesta en un caso de estudio en un local comercial de la provincia de Sucumbíos en ciudad de Shushufindi, creando un escenario donde la planta producirá y almacenará hidrogeno durante el día y posteriormente transformándolo en electricidad mediante generador de hidrógeno y alimentará alimentara un cierto tiempo establecido, con una energía necesaria es de  $15.4kW$  dando como resultado  $5.5 Nm^3$  de hidrogeno necesario para cubrir la demanda, Posteriormente se revisó la rentabilidad llegando a recuperar la inversión inicial en el intervalo de 12 años, llegando a resultar un beneficio económico.

**Palabras clave:** Hidrógeno verde, sistema Fotovoltaico, Energía renovable, Electrolisis del agua.



## ABSTRACT

**Subject:** “DESIGN OF GREEN HYDROGEN PRODUCTION SYSTEM USING PHOTOVOLTAIC ENERGY”.

**Author:**

Tisalema Til Franklin Elias

Torres Jumbo Jairo Giovanny

## ABSTRACT

This research aimed to study renewable energies, focusing on an alternative storage system. It was proposed to generate hydrogen by electrolysis of water, to be stored and used to generate electricity through a hydrogen engine. The hydrogen production plant (PPH) will use a system composed of photovoltaic panels as an energy source.

In this context, the development of a methodology for the design of the different stages and choice of the main elements that compose a hydrogen plant was proposed, as well as the dimensioning of a photovoltaic system to guarantee the production of green hydrogen.

The proposed methodology was applied in a case study in commercial premises in the Sucumbíos province in Shushufindi city, creating a scenario where the plant will produce and store hydrogen during the day and then transform it into electricity through a hydrogen generator and will feed a specific established time, with necessary energy is 15.4kW resulting in 5.5 Nm<sup>3</sup> of hydrogen needed to meet the demand. The profitability was reviewed to recover the initial investment in 12 years, resulting in an economic benefit.

**Keywords:** Green hydrogen, Photovoltaic system, Renewable energy, Water electrolysis.



## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO VERDE UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA”** presentado por **Tisalema Til Franklin Elías**, y **Torres Jumbo Jairo Giovanni** egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Septiembre del 2022

Atentamente,



Dirigido a: **MAYRA CLEMENCIA  
NOROÑA HEREDIA**



CENTRO  
DE IDIOMAS

**Mg. Mayra Clemencia Noroña Heredia**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI:0501955470**

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:**

Diseño de un sistema de producción de hidrógeno verde utilizando energía fotovoltaica.

**Fecha de inicio:**

Abril 2022

**Fecha de finalización:**

Agosto 2022

**Lugar de ejecución:**

Provincia de Cotopaxi

**Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Electricidad.

**Proyecto Macro Asociado:**

Desarrollo de sistemas para el abastecimiento y uso del servicio de energía eléctrica a nivel local, regional y nacional.

**Equipo de Trabajo:**

Tutor: Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc,

Estudiantes: Tisalema Til Elías Franklin  
Torres Jumbo Jairo Giovanni

**Equipo de Trabajo:** Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Área de Conocimiento:**

07 ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

- Conversión y uso racional de la energía eléctrica.
- Inteligencia artificial y modelación de Sistemas

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Situación Problemática**

La creciente demanda eléctrica es un problema debido a que en los últimos años a nivel mundial se presenta un aumento poblacional y por ende un aumento de necesidades energéticas. En este ámbito las energías renovables juegan un papel muy importante para obtener energía limpia. El principal inconveniente de este tipo de energía es su intermitencia, ya que no es posible o fácil predecir su ciclo, por ejemplo, la radiación, viento, mareas, etc no son posibles de predecir a largo plazo.

Como las unidades de almacenamiento de energía está principalmente echas con elementos tóxicos, degradantes y su explotación genera altos valores de emisiones nocivas para la vida humana, en los últimos años la contaminación del medio ambiente ha crecido por no tener un sistema de recolección y tratamiento adecuado para el reciclaje de las unidades de almacenamiento al cumplir su vida útil, esto provocan un problema ambiental, social y económico [1].

Los desafíos competitivos son diversos desafíos de organizaciones para la producción industrial que buscan una solución para diferentes plantas de producción de energía esto entrega vario servicios para mejorar la calidad, eficiencia y precio. Sea esto una situación de alternativa viable para almacenar energías como son plantas de producción y almacenamiento de hidrógeno [1].

#### **2.1.2. Formulación del problema**

La intermitencia en la producción de energías renovables es uno de los principales inconvenientes, en este ámbito surge la necesidad de almacenar la energía. Típicamente este almacenamiento debe ser ya sea químico, mecánico, hidráulico, etc.

El Hidrógeno constituye en este sentido una alternativa de almacenamiento energético, esta tecnología no es tan popular como sistemas basados en baterías.

## **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.99 Eficiencia de la energía eléctrica.

## **2.3. BENEFICIARIOS**

### **2.3.1. Beneficiarios directos**

El beneficiario directo es el local comercial que trabajan alrededor de cinco a seis empleados más el dueño del local.

### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Los beneficiarios indirectos son la ciudad y la asociación de panaderos de la ciudad de Shushufindi.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN**

El desafío que hoy en días se enfrentan, es ser capaces de abandonar gradualmente el uso de las energías no renovables y a la vez brindar opciones sostenibles, se busca una alternativa viable para el almacenamiento de energía limpia y segura. Existen investigaciones que buscan una alternativa para disminuir del uso de la energía no renovable. Si se pretende evitar los peores impactos del cambio climático.

Se debe encontrar la manera de reducir esas energías contaminantes que al final son energías que al futuro se van a perder. Diversos investigadores creen que la generación de energía de hidrógeno podría brindar una solución ecológica para algunas de las industrias más contaminantes. Las obligaciones para reducir la contaminación ambiental han llevado al país y las industrias a apostar por esta nueva forma de energía limpia, para ello se plantea el uso de las plantas de producción de hidrógeno (PPH), equipos que utilizan el agua y energías renovables como fuente de energía.

Las Plantas de Producción de Hidrógeno (PPH) son dispositivos electroquímicos que convierten directamente la energía, sin combustión y con alta eficiencia. El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua mediante la electrólisis. Es importante destacar los altos rendimientos que se obtienen la planta de producción de hidrógeno (PPH) en comparación con otros sistemas, esa opción de producción de energía es atractiva y eficiente, así como también presenta una amplia gama de aplicaciones[1], [2].

Se puede utilizar para la generación de energía y calefacción en empresas, hospitales, zonas residenciales y como generador en situaciones de emergencia cuando falla la alimentación principal. También brindan mejor eficiencia de combustible, autonomía operativa, durabilidad y confiabilidad que otras fuentes de energía [3]. Se pretende evitar los peores impactos del cambio climático se debe encontrar la manera de reducir esas energías contaminantes que al final son energías que al futuro se van a perder.

Diversos investigadores creen que la generación de energía a partir del hidrógeno podría brindar una solución ecológica para algunas de las industrias más contaminantes. Las obligaciones para reducir la contaminación ambiental han llevado al país y las industrias deben apostar por esta nueva forma de energía limpia.

## 2.5. HIPÓTESIS

La producción de Hidrógeno verde puede desarrollarse usando como fuente de energía un sistema fotovoltaico. De forma que su aplicación sea técnico y económicamente rentable en un centro comercial de producción de pan.

## 2.6. OBJETIVOS

### 2.6.1. General

Diseñar un sistema de producción y almacenamiento de hidrógeno verde aplicando principios de electrolisis del agua mediante un electrolizador, para cubrir una parte de la demanda eléctrica del local en horarios pico del local comercial.

### 2.6.2. Específicos.

- Analizar el estado del arte de la producción, almacenamiento de hidrógeno y del sistema fotovoltaico.
- Diseñar un sistema de producción de Hidrógeno, en donde su fuente de energía principal es un sistema Fotovoltaico.
- Realizar un estudio técnico, económico del sistema de la producción de Hidrógeno.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades(tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Analizar el estado del arte de la producción, almacenamiento de hidrógeno y del sistema fotovoltaico.	Levantamiento de información en sitios web, libros, artículos científicos etc. De sistemas de producción y almacenamiento de hidrógeno verde, así como del sistema fotovoltaico.	Desarrollo del marco teórico para el análisis del sistema. Análisis del funcionamiento de un sistema de producción de hidrógeno. Análisis de los sistemas Fotovoltaicos	Técnica de Investigación, bibliográfica, libros, papel, sitios webs, tesis, artículos científicos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - CARRERA DE ELECTRICIDAD

<p>Diseñar un sistema de producción de Hidrógeno, en donde su fuente de energía principal es un sistema Fotovoltaico.</p>	<p>Levantamiento de cargas del lugar del diseño.                  Dimensiona el área donde van estar ubicados los elementos.                  Desarrollo de una secuencia lógica para el diseño de un sistema de producción y almacenamiento de hidrógeno.                  Diseño de un sistema Fotovoltaico como fuente de energía para la producción de hidrógeno.</p>	<p>Diagrama Unifilar del sector.                  Tener un manual de operación y un proceso para dimensionar un sistema que produce Hidrógeno.                  Procedimiento para dimensionar un sistema fotovoltaico para alimentar de energía eléctrica al sistema de producción de hidrógeno.</p>	<p>Técnica-Observación directa e investigación de bibliográfica                  Instrumentos-                  - Ecuaciones                  - Cálculos                  - Software</p>
<p>Realizar un estudio Técnico Económico para un sistema de almacenamiento de Hidrógeno.</p>	<p>Implementación de la metodología propuesta en un caso de estudio con el levantamiento de los datos relevantes de la carga.                  Uso de software para el diseño del caso de estudio.                  Análisis económico mediante el VAN, el TIR y costo beneficio de los resultados obtenidos en el caso de estudio.</p>	<p>Obtención de los parámetros del sistema mediante los cálculos respectivos en el caso de estudio.                  Simulación del sistema.                  Conocer la rentabilidad, que tendrá el sistema, como también el tiempo de recuperación económica.</p>	<p>Técnica- Investigación Cuantitativa, estudios causales comparativa, estudios experimentales                  Instrumentos- software Homer Pro, sistema de registro.                  Base de datos</p>



### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

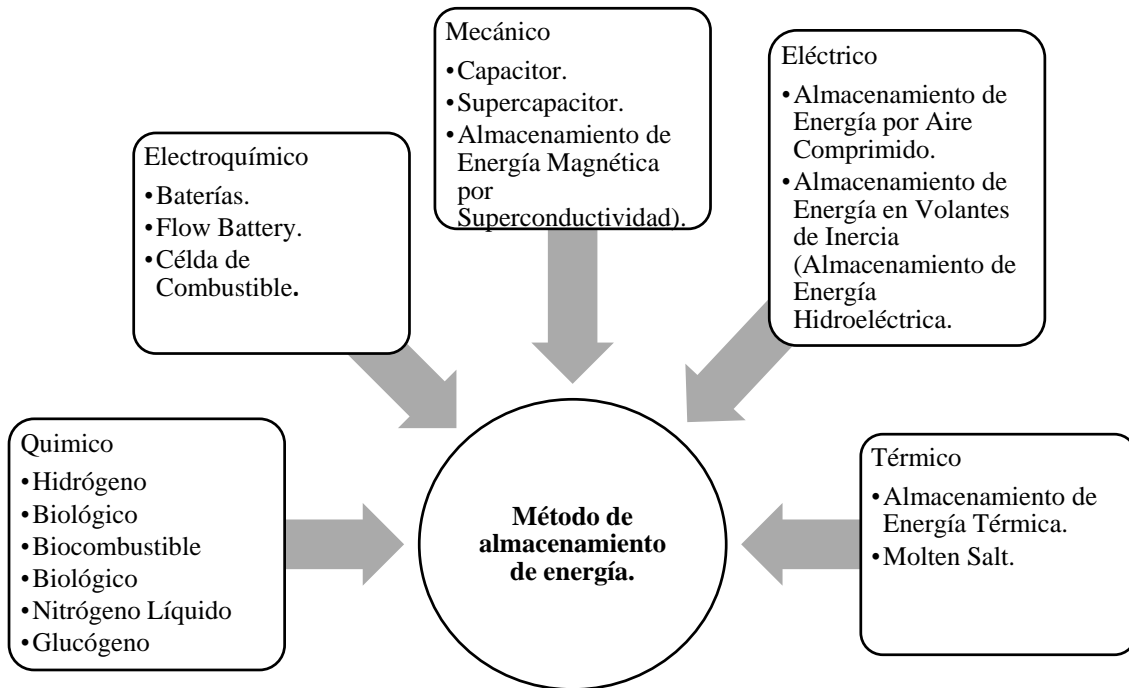
Un primer trabajo que realizaron el “diseño de un sistema híbrido para producción de hidrógeno” en este trabajo se manejó teorías sobre el futuro del hidrógeno, y las motivaciones que orientan al hidrógeno como el futuro de los combustibles, desde la perspectiva industrial, ambiental y económica [4].

También se hace referencia a la creciente necesidad de procesos de transformación más eficiente de energía, debido a la escasez de reservas de combustibles fósiles a largo plazo, lo que viene estimulando el desarrollo a nivel industrial de métodos alternativos de generación energética. Según el autor que realizo trabajo que realizo llamado el “hidrógeno, vector energético de una economía des carbonizada” en este trabajo habla del hidrógeno como una solución potencial para disponer de un combustible limpio de futuro [5].

Se vieron frustrados los intentos de desarrollar esto debido a la gran abundancia de reservas de petróleo, posterior los bajos precios de los combustibles fósiles y el progreso de los vehículos eléctricos ligeros que se debe utilizar batería, lo cual, entre otras cuestiones, frenaron las expectativas del despliegue del hidrógeno [6].

El almacenamiento de energía es fundamental para el desarrollo de las fuentes de energía renovables, al transcurrir los años se implementa nuevas tecnología y soluciones para obtener una eficiencia energética mayor [6]. La energía se puede almacenar de diferentes formas como se muestra en la Figura 3.1.

Como se observa de izquierda a derecha el almacenamiento químico, Electroquímico, Mecánico, Eléctrico y Térmico que constituyen las formas más comunes de realizar esta tarea. Estos son clasificados según sus diferentes principios de funcionamiento, capacidad de almacenamiento, entre otros criterios [7].



**Figura 3.1.** Métodos de almacenamiento de energía [6].

## 3.2. HIDRÓGENO

### 3.2.1. Historia.

Desde mediados de los años 80, se ha empezado a hablar de la conocida como Economía del Hidrógeno, que se basa en un modelo energético en el que el hidrógeno pasaría a ser un vector que establecerá un nexo entre las fuentes primarias de energía los consumidores. Los vectores energéticos actuales son los combustibles fósiles (por sí mismos también son una fuente de energía) y son los encargados de surtir la mayoría de las demandas energéticas del planeta, entre ellas la energía eléctrica.

Un sistema energético basado en combustibles fósiles tiene fecha de caducidad debido al agotamiento. Por tanto, se hace necesario buscar nuevas fuentes de energía que puedan abastecer las demandas energéticas, así como también, nuevos esquemas de producción y consumo de energía [8].



**Figura 3.2.** Industrias en el almacenamiento del hidrógeno [9].

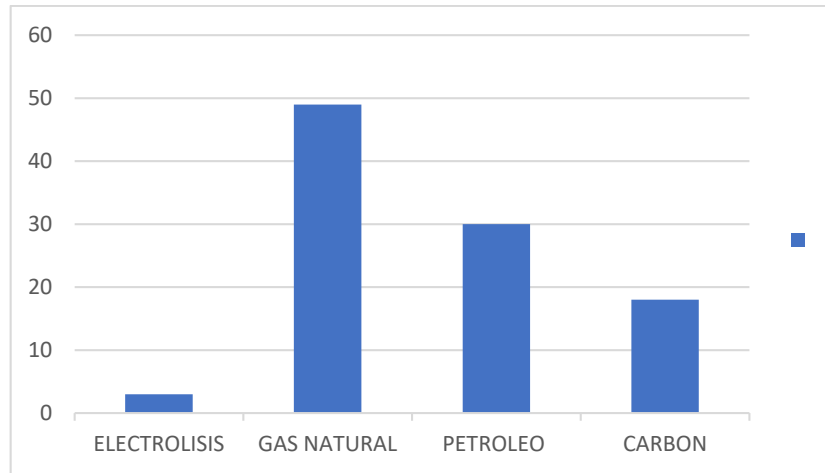
El Hidrógeno es un combustible mayormente eficaz que los combustibles fósiles, A esto los centros de investigación y la administración generando una agenda estratégica definiendo los problemas tecnológicos con el fin de colocar al hidrógeno como el portador de energía del futuro [8]. El Hidrógeno es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica ( $H_2$ ).

Es tan abundante en la Tierra que constituye alrededor del 75 por ciento de la materia del universo, pero se encuentra en combinación con otros elementos, como el oxígeno, que forma moléculas de agua, o el carbono, que forma compuestos orgánicos. Por lo tanto, no es un combustible que se pueda tomar directamente de la naturaleza [2].

Por lo tanto, debe ser producido a través de varios procesos.

- Termoquímica: El uso del calor y las reacciones químicas para obtener hidrógeno a partir de combustibles convencionales o biomasa.
- Electrólisis: El agua ( $H_2O$ ) se electroliza en hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ).

La producción de hidrógeno con fines energéticos se clasifica por color, lo que representa cuán limpio se produce. En la actualidad, se obtiene hidrógeno a partir de las fuentes presentadas en el gráfico, de ellas casi la mitad es a partir del gas natural (48%), denominado hidrógeno azul. El hidrógeno verde, es todo aquel hidrógeno que se produce a partir de fuentes energéticas renovables (4%), por ejemplo, electrolisis del agua. Mientras que el hidrógeno negro es producido a partir de petróleo (30%) y carbón (18%) [3].



**Figura 3.3.** Hidrógeno a partir de las fuentes existentes [3].

Aproximadamente el 99% del hidrógeno proviene de hidrocarburos: gas natural y carbón, lo que hace que su propia producción sea una fuente rica en emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) [3].

### 3.2.2. Propiedad del hidrógeno.

Entre las propiedades más importantes del  $H_2$  podemos considerar:

#### Las propiedades químicas:

- En condiciones normales, el gas hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido.
- Es la molécula más pequeña conocida.
- La densidad del hidrógeno es de  $76kg/m^3$  y cuando se encuentra en estado de gas, la densidad es de  $273kg/L$
- Optima conductividad calorífica
- Punto de fusión de 14025 K.
- Punto de ebullición de 20268 K
- Tiene una energía de 285 KJ/ mol

#### Propiedades Físicas Del Hidrógeno:

- Posee un estado de oxidación de +1, -1.
- El hidrógeno,  $H^+$ , siempre se encuentra asociado a otro elemento, menos en el estado gaseoso.
- Posee una estructura cristalina hexagonal.
- Tiene relación con casi todos los elementos de la tabla periódica
- Se une a metales alcalinos y alcalinotérreos (excepto berilio y magnesio) a través de enlaces iónicos.

El hidrógeno, consigue licuarse a unos  $-253^{\circ}\text{C}$ , solidificando entorno a los  $-259^{\circ}\text{C}$ . El hidrógeno en estado gaseoso no es demasiado reactivo, quizás esto sea debido a la elevada energía de enlace covalente que posee,  $H - H = 436\text{kJ mol}^{-1}$  [4].

### 3.3. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.

El hidrógeno es un elemento químico más ligero. Existe de forma estable en la molécula diatómica  $H_2$  y es un gas incoloro en condiciones atmosféricas. La técnica de electrólisis implica la división de moléculas de agua en oxígeno gaseoso e hidrógeno gaseoso mediante una corriente continua suministrada por una fuente de corriente conectada a dos electrodos, donde se produce la ruptura de las moléculas de agua en la superficie de los dos electrodos.

La electrólisis se descubrió por primera vez en el siglo XIX [6]. El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro y altamente reactivo que se encuentra en todos los componentes vivos y en muchos minerales. Es el elemento más común del universo y el gas más ligero que existe. Aunque es muy abundante, no es una fuente de energía que se pueda extraer directamente de la tierra como el carbón o el petróleo, ya que en la naturaleza se utiliza junto con otros compuestos como los hidrocarburos o el agua. Considere también el hidrógeno como un vector de energía.

Esto significa que para utilizar este gas como portador de energía es necesario llevar a cabo una serie de transformaciones químicas [7]. El uso del hidrógeno como fuente de energía significa varias ventajas a corto y mediano plazo, entre ellas quemarlo porque no contamina el medio ambiente, porque no emite dióxido de carbono, ya que la mayor parte de la energía no renovable anterior es carbono. dióxido de carbono, lo que conduce al llamado efecto invernadero para los principales gases [8], [5], [7].

#### La electrólisis del agua.

La electrólisis del agua es uno de los procesos más limpios para la obtención del hidrógeno se realiza por medio de la disolución de una molécula del agua con un aporte externo de la energía eléctrica para obtener en forma de gas hidrógeno y oxígeno por este motivo se necesita una cantidad de energía que puede ser calorífica o eléctrica por lo tanto se realiza está a  $25^{\circ}\text{C}$  con una aportación de  $285 \frac{\text{MJ}}{\text{Kmol}}$ .

Solo es necesario aportar  $237 \frac{\text{MJ}}{\text{Kmol}}$  en forma de trabajo eléctrico ya que la diferencia la recibe en forma de calor punto los componentes necesarios para llevar a cabo la ley televisiones en la Cuba electrónica e contribuida por dos electrodos ánodo y cátodo y un electrónico para facilitar la migración de los iones [9].

Para esa reacción química del agua el electrodo negativo crea una carga negativa para la conexión de la batería externa provocando que los electrones de la sustancia se dirijan al extremo del cátodo y la molécula del agua en este en este momento se rompa y se descomponga en un ión positivo y un millón hidrógeno negativo de esta forma el suceso de la reacción de la molécula de agua en el [9] [10].

Una separación de carga neutra, por consecuencia que el autónomo de oxígeno atrae como una fuerza de electrones autónomo de hidrógeno por estas razones el átomo de oxígeno es más electronegativo que el autónomo de hidrógeno la manera que del ion del hidrógeno es más simple protón libre de forma de elección del cátodo de forma que se convierte en un átomo de hidrógeno neutral descrito por la siguiente manera [11].

### **3.4. TIPOS DE ELECTROLIZADORES.**

#### **Electrolizadores alcalinos.**

El electrolito donde se produce la conducción de los iones es una disolución alcalina, generalmente de hidróxido de potasio (KOH) o de hidróxido de sodio (NaOH). Estas celdas generalmente se instalan en serie para producir más hidrógeno y oxígeno al mismo tiempo. Cuando se aplica corriente a la pila de celdas electrolíticas, los iones de hidróxido se mueven desde el cátodo de cada celda a través del electrolito hasta el ánodo, creando burbujas de hidrógeno gaseoso en el lado del cátodo de la celda y burbujas de oxígeno gaseoso en el lado del cátodo de la celda. célula. en el ánodo.

Hoy en día, son los más comunes porque tienen la mayor rentabilidad económica y madurez tecnológica. Sin embargo, implican elevados costes de mantenimiento a nivel de sistema por el uso de un electrolito corrosivo[12].

### **Electrolizadores de protón exchange membrana (PEM).**

En este caso, el electrolito es un polímero sólido conductor de protones, lo que reduce el primer problema de corrosión a nivel del sistema, pero se deben abordar otros problemas de corrosión que afectan a diferentes componentes del electrolizador. Además, se deben utilizar metales preciosos, lo que significa mayores costos, aunque pueden trabajar a mayor intensidad y se pueden conectar fácilmente a sistemas variables como las fuentes de energía renovable. [13].

### **Electrolizadores de anion exchange membrane (AEM).**

Este tipo de electrolizadores es resultado de la combinación de los anteriores, aplicando un funcionamiento similar al electrólisis alcalina, pero utilizando en lugar del electrolito una membrana (equivalencia con PEM) de tipo anicónico. Este tipo de membrana es más económica que la utilizada en los electrolizadores PEM, siendo la electrólisis AEM de bajo coste y altamente estable para la producción de hidrógeno. En la actualidad esta tecnología se encuentra poco desarrollada y limitada [14].

### **Electrolizadores de óxido sólido (SOEC).**

Es la tecnología menos desarrollada. El electrolito está hecho con materiales cerámicos, esto reduce el costo de fabricación, y su eficiencia es muy alta, aunque debe aportarse para ello temperaturas superiores a los 700°C. A diferencia de los anteriores, permiten convertir el hidrógeno generado en electricidad nuevamente si se emplean dispositivos reversibles, aportando servicios de equilibrio a la red [5].

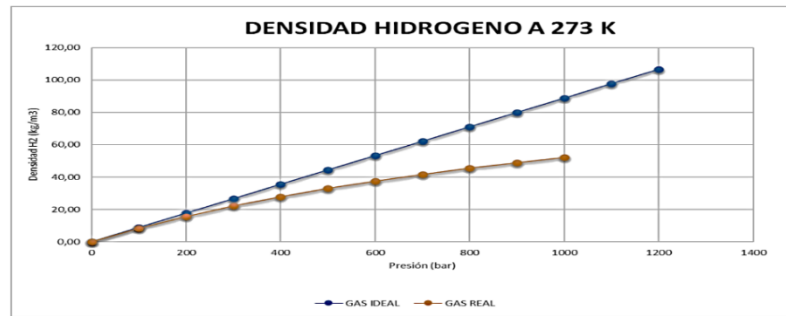
## **3.5. ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO.**

Entre los diferentes tipos de almacenamiento de hidrógeno, el más común puede considerarse gas, en forma líquida, el hidrógeno se puede transportar como gas comprimido a través de una tubería o en forma criogénica por camión, la elección de la ubicación de almacenamiento depende de la aplicación prevista.

### **3.5.1. Almacenamiento de hidrógeno gaseoso.**

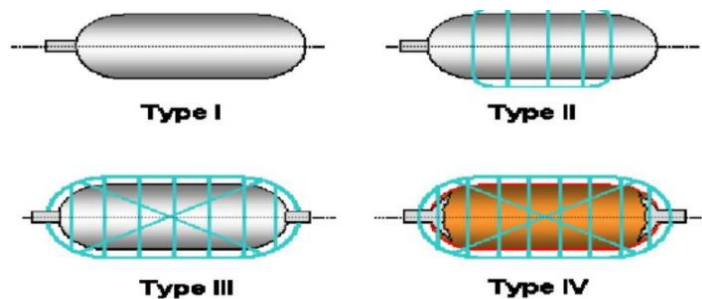
Entre las formas de almacenar el hidrógeno disponemos de la opción de comprimido, la cual es la forma más habitual de almacenarlo, pero como el hidrógeno se encuentra en altas presiones su densidad energética es menor. Como se muestra en la Figura 3.4, la densidad energética depende linealmente de la presión a la que se encuentra el gas, por lo cual la densidad está en

función de la presión de almacenamiento con una temperatura 0°C. Regularmente el hidrógeno se almacenamiento a 200 bares, pero pueden variar de 350 a 700 bares como lo usan en los automóviles y camiones. Todos estos sistemas de almacenamiento utilizan diferentes tipos de materiales y tecnologías de fabricación, por lo que se pasará a detallar las diferentes características que tienen cada uno de los sistemas de almacenamiento a alta presión utilizados actualmente [15].



**Figura 3.4.** Densidad hidrógeno en función de la presión de almacenamiento [15].

Existen depósitos para el almacenamiento de hidrógeno que dependerán de la presión que son capaces de soportar, en la Figura 3.5, se muestra 4 tipos de depósitos cilíndricos [16].



**Figura 3.5.** Tipos de depósitos para el almacenamiento de hidrógeno comprimido [16].

**Tipo 1:** los cilindros son de aluminio o acero, la presión varía de 175 bar de aluminio o 200 bar de acero. Las paredes varían el grosor por el volumen de almacenamiento, es una opción económica para sustancias pesadas.

**Tipo 2:** los cilindros son de aluminio o acero y reforzados con materiales compuestos de fibra de carbono o vidrio, la presión puede llegar hasta 100 bar, siendo un depósito pesado y suele utilizarlo en aplicaciones estacionarias o en las hidrogenaras por las presiones altas.

**Tipo 3:** El cilindro posee un forro metálico interno de aluminio o acero para evitar las fugas por difusión. El forro está compuesto por una disposición en distintas direcciones. Cuando el



material compuesto es fibra de carbono, consiguen soportar presiones de hasta 700 bar. Debido al uso de los materiales compuestos, los cuáles poseen una baja densidad, se reduce el peso de estos depósitos por debajo de los de tipo 1 y 2.

**Tipo 4:** el cilindro tiene un forro cilíndrico con un forro interno que evita fuga, el dicho forro está compuesto por un material plástico y reforzado con fibras de carbono dispuesto en distintas direcciones recubierta la totalidad del forro. El tanque puede alcanzar una presión de 700 bar con el tipo 3, con la diferencia que el tipo 4 elimina todo el material metálico, por lo cual el peso es menor que los otros casos, el uso de plásticos tiene peores resultados que el metal a la hora de evitar los escapes por difusión [16].

### 3.5.2. Almacenamiento de hidrógeno líquido.

Usualmente el hidrógeno líquido se almacena para aumentar la densidad de energía volumétrica, aumenta la densidad de energía volumétrica del  $H_2$  de 2,5 o 5  $\frac{MJ}{L}$  (para comprimido a 345 y 690 atm respectivamente a 8  $\frac{MJ}{L}$  (para hidrógeno líquido  $LH_2$ ). Como resultado, se requiere menos volumen para el almacenamiento, por lo que se puede usar un contenedor más pequeño y liviano pero su costo es mayor. Con la ventaja del aumento en la densidad volumétrica al almacenar hidrógeno líquido no es recomendable por distintas razones. En primer lugar, el hidrógeno se evapora muy fácilmente durante la entrega y el reabastecimiento de combustible. En segundo lugar, se presuriza rápidamente mientras está a bordo de los vehículos, ya que absorbe el calor del ambiente. En tercer lugar, al menos el 35% del contenido energético del combustible se utiliza para licuarlo. Esto es tres veces más energía de la que se necesita para comprimir  $H_2$  a 690 atm. Por lo tanto, el tanque debe ventilarse cada 3-5 días durante la inactividad para evitar pérdidas por evaporación peligrosas y costosas [17].

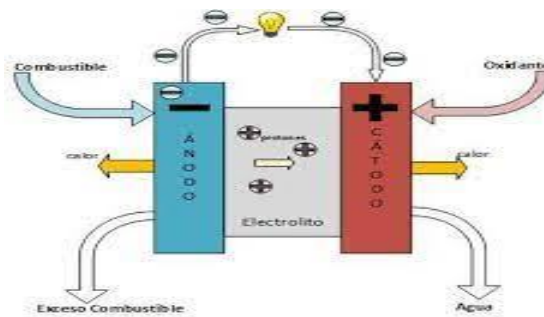
## 3.6. MOTOR DE HIDRÓGENO

El principio con el que funcionan los motores es con las pilas de combustible es el opuesto a la reacción electrolítica, el oxígeno y el hidrógeno se fusionan para la formación de agua, electricidad y calor.

Se trata de una reacción limpia y amigable con el medio ambiente en la que el único residuo o subproducto que se genera es el vapor de agua que se descarga a la atmósfera sin causar daño alguno al medio ambiente, además de hidrógeno ( $H_2$ ) puro que pueda provenir de la electrolisis

puede ser empleado de otras fuentes tales como gasolinas, Gas Licuado de Petróleo (GLP), metanol, etanol u otros tipos de alcoholes, que solo tengan que pasar por un tratamiento (reformado, purificado) para acoplarlos a los diversos tipos de pilas de combustible.

El la Figura 3.6. muestra como el hidrógeno penetra el electrodo negativo (ánodo) que se descompone en presencia de electrones y del catalizador en iones positivos  $H^+$ . El oxígeno ( $O_2$ ) que proviene del aire, ingresa por el electrodo opuesto (cátodo) y se separa también en presencia del catalizador en iones  $O_2$ . Los iones positivos del hidrógeno pasan a través del electrolito dirigido o al cátodo dejando en el ánodo a los electrones libres Pilas de Combustible de Alta Temperatura Reversibles [16].



**Figura 3.6.** Sistema del motor de hidrógeno (pila De Combustible) [16].

#### **Pila de combustible alcalina (AFC).**

Las pilas de combustible alcalinas: usan como electrolito principal el Hidróxido de Potasio (KOH) concentrado (85% en peso), opera a una temperatura que oscila entre los 250°C, con eficiencias que llegan hasta el 70%.

#### **Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC).**

Estas pilas utilizan como electrolito ácido fosfórico ( $HPO_3$ ), a una concentración (98%), que se mantiene en una matriz de SiC. Estas pilas funcionan a temperaturas que oscilan entre 150 – 200°C, rango en que la conductividad iónica del ácido fosfórico es adecuada [16].

#### **Pila de combustible de carbonato fundido (MCFC)**

Este tipo de pilas, debido a su temperatura de operación, los tiempos requeridos para el arranque y parada son muy superiores a las que son de baja temperatura. El combustible, sin embargo, no requiere tanta pureza. Las principales características de las MCFC son [16]. Combustible: hidrógeno, la temperatura de operación debe ser elevada como para transformar directamente

combustible ricos en hidrógeno en el ánodo de la pila, debido a esto se puede utilizar gas de refinería, gas de natural, biogás o gas de agua directamente.

- Electrolito: Son sales fundidas de carbonatos alcalinos tales como (Li-Na, LiK) en una matriz de aluminato de litio.
- Electrodo: ánodo: Ni dopado con Cr habitualmente, con Cr hasta el 10%; cátodo: óxido de níquel litiado.

### **Pila de combustible de óxidos sólidos (SOFC).**

Las SOFC han surgido actualmente, debido a que han tenido un gran desarrollo y numerosos programas de investigación, trabajan en mejorar la optimización económica y de aplicaciones. El hecho de que todos sus componentes sean sólidos disminuye los problemas de corrosión y manejo del electrolito. Las principales características son:

Combustible: hidrógeno seco o humedecido. La alta temperatura, igual que sucede en las MCFC, permite reformar internamente el gas aportado sin necesidad de catalizador, por lo que se puede alimentar directamente gas natural o gas de gasificación de carbón.

Electrolito: óxido metálico no poroso que sea un buen conductor iónico (de oxígeno en forma de O<sup>2-</sup>), comúnmente óxido de Circonio estabilizado con Ytrio.

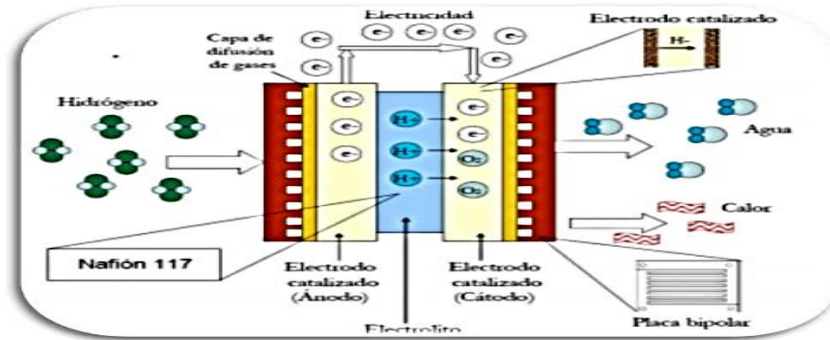
Temperatura de operación: operan entre 900 y 1.000 °C. La alta temperatura que emite este tipo de pila permite aprovechar fácilmente el calor, por lo que se utilizan en gran medida para aplicaciones de cogeneración. La desventaja de las altas temperaturas de operación alcanzadas son el tiempo de arranque y de parada necesarios para alcanzar la temperatura y la pérdida de rendimiento ante descensos de la temperatura.

- Ánodo: comúnmente una mezcla de material cerámico y metal (Ni) en un esqueleto de ZrO<sub>2</sub> estabilizado con Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La estructura es de una porosidad del 20-40% para facilitar el cruce de los gases que provienen del ánodo y del cátodo.
- Cátodo: normalmente de Manganato de Lantano dopado con Estroncio o Selenio.

### **Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEMFC).**

Según la pila tipo PEMFC, utilizan hidrógeno gaseoso para alimentar al ánodo y oxígeno puro o presente en el ambiente para alimenta al cátodo [16].

En la Figura 3.7, se puede observar los componentes de una pila de combustible tipo PEMFC. Se compone de una celda de membrana polimérica, dos electrodos, catalizador, capa de difusión de gas y placas bipolares.



**Figura 3.7.** Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones [18]

Uno de los materiales más costosos en las PEMFC son los electrodos en el cual se ubican los catalizadores de Platino. Durante los últimos años se ha gestionado la reducción del uso de platino para la reacción. Se estima que en los años venideros se sigan disminuyendo estas cantidades para disminuir el valor total de las PEMFC para que su comercialización sea a gran escala. Sin embargo, no solo permite el uso del hidrógeno puro como combustible, sino también acepta el uso de hidrocarburos ligeros reformados (metanol, gas natural u otros tipos de alcoholes). Cuando una PEMFC trabaja con algún hidrocarburo reformado el CO u  $CO_2$  que se forma en el proceso debe ser eliminado, debido a que estos residuos reaccionan con los catalizadores de Platino que se encuentran en los electrodos los cuales se envenenarían, reduciendo su rendimiento y su vida útil [16].

### 3.7. BOMBAS DE AGUA.

Según algunos autores mencionan a las bombas de agua como las máquinas que transforman energía eléctrica en movimiento de agua de un sitio a otro, este movimiento, normalmente es ascendente. Las bombas pueden ser de dos tipos “volumétricas” y “turbo-bombas”. Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión). Las volumétricas mueven el agua mediante la variación periódica de un volumen. Es el caso de la bomba de émbolo. Las turbos bombas poseen un elemento que gira, produciendo así el arrastre del agua. Este elemento “rotor” se denomina “Rodete” y suele tener la forma de hélice o rueda con paletas. Las bombas pueden recibir la energía de diversas fuentes [19].



**Figura 3.8.** Bomba centrífuga Rotoplas [20].

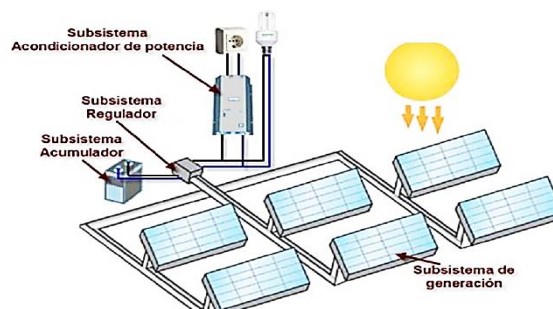
Al seleccionar una bomba para una aplicación particular, se deben considerar los siguientes

### 3.8. SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Una instalación fotovoltaica es el conjunto de equipos que captan la energía solar y la transforman en electricidad estos sistemas se basan en la capacidad de las células fotovoltaicas para transformar la luz solar en energía eléctrica si el sistema está conectado a la red eléctrica, se transforma en corriente alterna gracias al uso de un inversor, en la industria o en los hogares; de ahí su importancia como energía renovable [21].

#### 3.8.1. Funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

La energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico esto depende de la incidencia del sol sobre un panel fotovoltaico, así igualmente como los módulos instalados, la orientación, inclinación, la calidad de la radiación solar y la potencia nominal. Las células fotovoltaicas son los dispositivos a través de los cuales se absorbe la energía del sol. Esos elementos de un sistema fotovoltaico son idóneos para generar energía eléctrica aprovechando la luz solar que incide sobre ellos. Las celdas deben estar hechas de un material semiconductor, que recibe fotones del sol y el material más utilizado es el silicio [21].



**Figura 3.9.** Sistema fotovoltaico normal [21].

Entre las características que presenta la generación fotovoltaica, tenemos que constituye una fuente limpia de energía, renovable, no emite contaminación acústica, así mismo algunas de sus desventajas son que solo funciona durante el día, es necesaria una inversión considerable se necesita un gran espacio para su implementación [22].

### 3.8.2. Capacidad De Producción De Un Sistema Fotovoltaico

Actualmente, la capacidad general que se ha instalado de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial supone una fracción significativa de toda la demanda eléctrica. Por ejemplo, en la Unión Europea, cubre en promedio el 3,5 % de la demanda eléctrica; puede alcanzar hasta un 7 % en épocas de más producción [23], [24].

#### Radiación Solar.

Se dice que es la energía por el sol que extienden por el espacio en forma de ondas electromagnéticas esta estrella es un organismo negro que tiene una temperatura de 6.000 K la magnitud que mide la radiación solar es la y radiación que aprecia la energía que se tiene del planeta[23], [25].

Energía solar incidente en una superficie determinada durante un tiempo de radiación, se mide

en  $\left[\frac{kWh}{m^2} \text{ o } \frac{MJ}{m^2}\right]$ [23], [24].

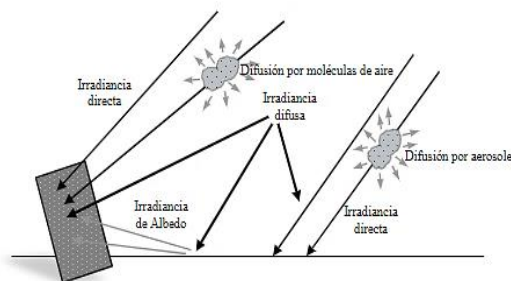


Figura 3.10. Trayectorias Que Siguen Los Rayos Solares [25]

**Hora Solar pico:** la cantidad de horas del Sol que se absorbe en el día con una energía de radiación.

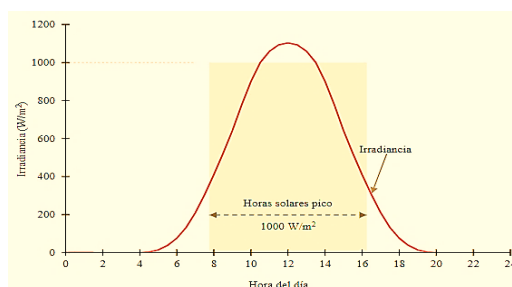


Figura 3.11. Hora Solar Pico [23], [25], [26].

### 3.8.3. Módulos fotovoltaicos.

Estos módulos fotovoltaicos denominados también panel solar está formado por varias celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas, está diseñado para lograr captar la energía solar fotovoltaica iniciando el proceso de transformación en energía sostenible. El material semiconductor de que está recubierto es normalmente de silicio un componente esencial para una de las células solares, genera electricidad en forma de corriente continua debido a su sensibilidad a la luz al momento de recibir la radiación. Compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la insolación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 o 24 V). La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 [27].

### 3.8.4. Inclinación de los paneles ( $\beta$ ) y ángulo de azimut( $\alpha$ )

La inclinación de los paneles se interesa es que los rayos solares toquen el módulo perpendicularmente al medio día por lo tanto se muestra en la ecuación (3.1) y en la Figura 3.12 [25], [28]

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija que garantiza la máxima captación de energía anual, se utiliza una fórmula que resulta del análisis de los cálculos de la irradiación solar global para distintas inclinaciones en diferentes latitudes[25], [29]

No obstante, es necesario que la inclinación del módulo fotovoltaico no sea menor de  $15^\circ$ , para permitir que la suciedad acumulada sobre su superficie sea retirada por el agua de lluvia[25]

$$b = \varnothing - \delta \quad (3.1)$$

Donde:

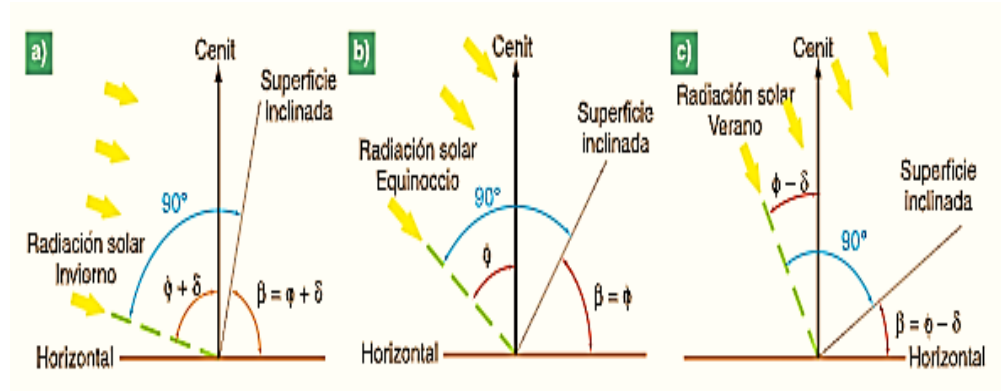
**b =Inclinacion de los paneles.**

$\varnothing$  =Latitud.

$\delta$  =Su valor depende de las estaciones del año.

**Tabla 3.1.**Tabla de inclinación de latitud de radiación [30].

Latitud del Lugar	Ángulo en invierno	Ángulo En Verano
00° – 05°	15°	15°
15° – 25	<i>Latitud</i>	<i>Latitud</i>
25° – 30°	<i>Latitud + 05°</i>	<i>Latitud – 05°</i>
30° – 35 °	<i>Latitud + 10°</i>	<i>Latitud – 10°</i>
35° – 40 °	<i>Latitud + 15°</i>	<i>Latitud – 15°</i>
<i>mayor a 40°</i>	<i>Latitud + 20°</i>	<i>Latitud – 20°</i>



(a) Mediodía solsticio de invierno. (b) Al mediodía de los equinoccios. (c) Al mediodía del solsticio de verano.

**Figura 3.12.** Inclinación del panel fotovoltaico [25].

La radiación solar se clasifica en:

- **Difusa:** Es la cantidad de radiación que cae sobre la tierra después de ser difundida por la atmósfera, las nubes la lluvia[31].
- **Reflejada:** Es la cantidad de radiación que es reflejada por la superficie recepto rayes captada en posición vertical.
- **Global:** Es la suma de las radiaciones; la radiación directa que es cuando está el cielo despejado, radiación difusa que es cuando hay días nublados y la radiación reflejada que cuando se dispersa se refleja por la superficie[31].

### 3.8.5. Inversor de conexión a la red.

Para transformar la electricidad producida por un panel solar (corriente continua) en electricidad con las mismas características que la de la red eléctrica (corriente alterna a 120-220 voltios y frecuencia de 60 Hz), se necesita un inversor para sistemas fotovoltaicos conectados a la red no puede funcionar de forma aislada (modo isla). Los inversores son salidas monofásicas o trifásicas con potencias que van desde 1kW hasta las centenas de kW

Son inversores con salida monofásica o trifásica con potencias que van desde 1 kW hasta las centenas de kW, instalados entre el generador fotovoltaico y el punto de conexión a la red[23], [25], [29].

La etapa de potencia del inversor presenta una configuración en puente monofásico, utilizando como semiconductores de potencia transistores MOSFET. Para generar una senoidal pura o perfecta es mediante la técnica de modulación de ancho de pulsos PWM y además cuenta con un adaptador eléctrico conocido como seguidor del punto máximo de potencia (MPPT) que hace trabajar al generador fotovoltaico en la zona de su curva característica donde entrega la máxima potencia, independientemente de la carga conectada al generador[25], [32], [33].



### 3.8.6. Baterías.

Para los sistemas fotovoltaicos, las baterías o también llamados acumuladores fotovoltaicos son utilizados principalmente como un sistema de almacenamiento energético, en el día y los periodos de consumos será durante de la noche, esto permite la operación de las cargas cuando el generador fotovoltaico no puede generar potencia suficiente y necesita abastecimiento para las cargas, las baterías son utilizadas en gran mayoría para sistemas de fotovoltaicos en el sistema de bombeo de agua y en general no se utilizan los sistemas a la red eléctrica[34], [35].



**Figura 3.13.** Batería Solar de GEL vida útil prolongada 150Ah/12VDC [36].

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este apartado se describe minuciosamente la metodología, técnicas de investigación, el sistema de procedimientos, herramientas y materiales que fueron usados para el presente estudio. El modelo metodológico formula un sistema de procedimiento técnicas y métodos para el tratamiento de datos y conocimientos con el fin de conseguir parámetros válidos para el desarrollo de la investigación.

### **4.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **Método analítico - Sintético**

Este método se usó para el análisis de la información que tenga una referencia al tema de estudio, a través de una fundamentación teórica recabando de diferentes fuentes bibliográficas como: libros, revistas científicas, entre otros sitios de veracidad, esto facilita el estudio de los diferentes complicaciones y causas concerniente al diseño de nuevas energías, además del procedimiento para la elaboración general de un diseño y mediante ello proponer soluciones a los fenómenos de mayor incidencia dentro del sistema.

### **4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **Investigación teórica**

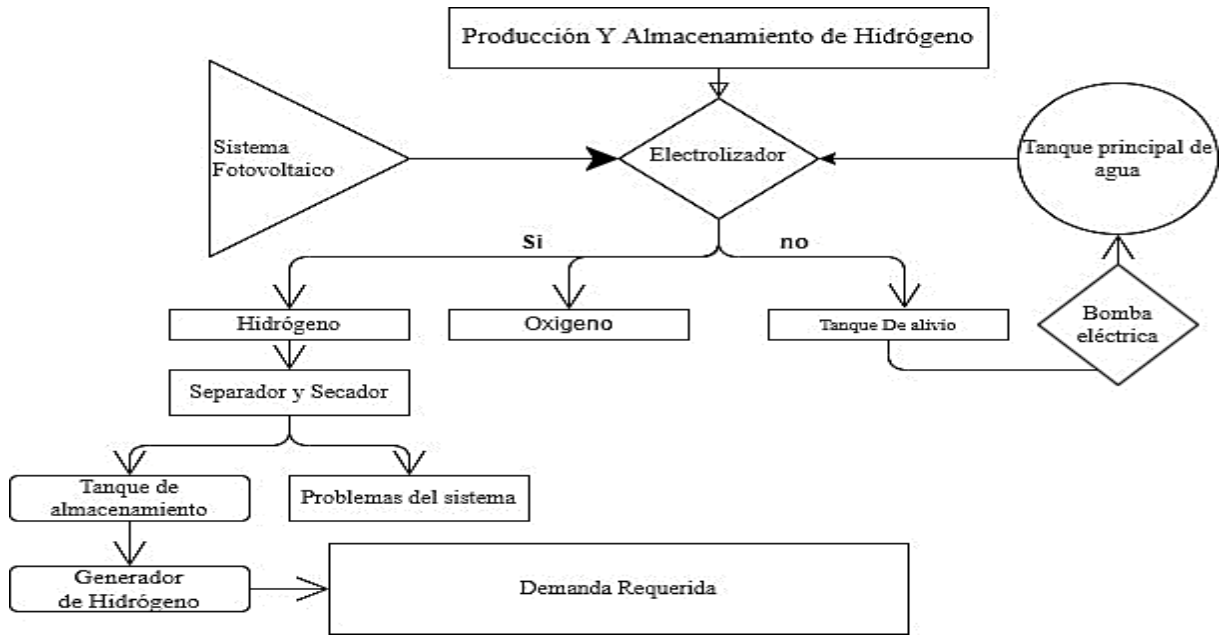
Para llevar a cabo la investigación teórica de este estudio se recolecto información de libros, repositorios de universidades, revistas, artículos científicos y sitios web de entidades de importancia para establecer un fundamento teórico conciso acerca de nuevas energías renovables, eficiencia energética, y las comprensiones de normativas aplicadas al diseño del tema dado.

### **4.3. PLANTA DE PRODUCCION DE HIDRÓGENO.**

En el presente capitulo abordamos el diseño y dimensionamiento de una planta de producción y almacenado de hidrógeno, la cual está alimentada desde un sistema Fotovoltaico, también dispone de un sistema de bombeo de agua, que alimentan al electrolizador con el fin de producir Hidrógeno que luego será almacenado y utilizado de acuerdo con las necesidades de la demanda

eléctrica, en la Figura 4.1. se muestra un diagrama general que nos indica la producción, almacenamiento y consumo del hidrógeno verde.

Se inicia la producción de hidrógeno verde estableciendo las necesidades de agua ya que constituye el principal componente en el proceso, la reacción que cumple el electrolizador es la separación del hidrógeno y oxígeno a partir del agua, esta reacción se lo consigue mediante la aplicación de electricidad.



**Figura 4.1.** Producción y Almacenamiento de Hidrógeno.

Posteriormente el hidrógeno producido pasa por distintos procesos como la separación de las moléculas de agua con las del hidrógeno que el electrolizador produce para pasar por un tanque de separación, luego el hidrógeno tiene que pasar por un proceso de secado, este proceso se lo aplica para no tener humedad en el tanque de almacenamiento y así garantiza un buen rendimiento al ser procesado por el motor de hidrógeno, en la Figura 4.1 se presenta los tanques de almacenamiento que pueden ser utilizados.

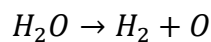
Por último, interviene el motor de hidrógeno, este proceso es similar al proceso del electrolizador, pero al revés, produciendo electricidad y agua, este es un proceso químico exotérmico, usa como combustible al hidrógeno y el oxígeno del medio con una eficiencia del 80% que se transforma en electricidad, el 20% se pierde en la composición del agua y calor que se disipa en la atmósfera. El estudio abarca la posibilidad de sostener la demanda eléctrica en ciertas horas de la noche, durante el trabajo del sistema en el día.

Para finalizar, una vez determinado los resultados de las potencias necesarias de los equipos que intervienen en el sistema del fuel cell, se procede a dimensionar el sistema fotovoltaico con relación a las demandas de diseño, de hecho, uno de los factores necesarios sería el lugar o sector de realización donde se realizó el diseño ya que hay lugares que no cuenta con la misma irradiación solar, por lo contrario, no será el mismo número de paneles fotovoltaicos.

El diseño cuenta también con un banco de baterías que ayuda a mantener el trabajo óptimo para el almacenamiento de hidrógeno ya que pueda haber interrupciones con el pasar del tiempo. Otro de los factores importantes es la revisión del espacio del lugar ya que el diseño está compuesto por límites de longitudes, esto pueda repercutir si no cuenta con el espacio suficiente por lo cual no se podrá dimensionar los paneles fotovoltaicos con un espacio muy reducido.

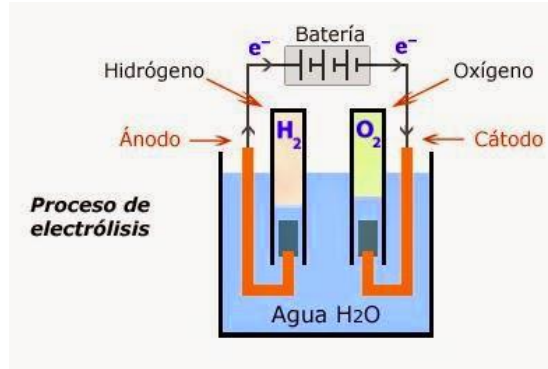
#### **4.3.1. Producción de hidrógeno ( $H_2$ )**

La Electrolisis es una vía óptima para la producción de hidrógeno a partir de recursos renovables, este proceso es la descomposición de agua en sus componentes básicos, hidrógeno y oxígeno gracias a la intervención de la electricidad en forma de energía química. Se puede observar la reacción química que tiene el agua en la electrolisis.



El agua tiene un peso molar de 18 gramos, dos gramos de hidrógeno y 16 gramos de oxígeno respectivamente, se sabe que el peso del agua es relativamente igual a la cantidad por litros, es decir 1kg es igual a un litro de agua, ante esto se puede decir que por cada un litro de agua se puede obtener 111.11 gramos de hidrógeno y 888.88 gramos de oxígeno aproximadamente por cada mol de agua en el proceso químico de su descomposición básica.

Cabe recalcar que le agua no es capaz de descomponerse por sí solo, ante esta situación la parte eléctrica y el electrolito ( $H_2SO_4$ ) ya que el agua pura no tiene la capacidad de transportar suficiente carga al carecer de iones, pero los electrolizadores PEM no usan estos electrolitos. en la Figura 4.2, se muestra la reacción que tiene el agua y la electricidad en la electrolisis condiciones nominales ( $25^\circ C, 1 atm$ )



**Figura 4.2.** Electrolisis [13].

En la Figura 4.2. muestra la reacción química que tiene el agua con la electricidad, este proceso libera electrones por los aniones en el ánodo y la captura de electrones por los cationes en el cátodo, para que suceda la ruptura del agua en hidrógeno y oxígeno es necesario energía que es igual a la variación de entalpía de la electricidad y la variación de la entropía del entorno ( $T\Delta S$ ) estos cambios son importes a momento de la reacción.

**Tabla 4.1. Conversión de entalpía y entropía estándar en condiciones nominales [8].**

Cantidad	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	0,5 O <sub>2</sub>	Cambio
Entalpía	-285,83 kJ	0	0	$\Delta H = 285,43 \text{ kJ}$
Entropía	69,91 J/K	130,68 J/K	130,68 J/K	$T\Delta S = 48,72 \text{ kJ}$

### 4.3.2. Electrolizador.

Para determinar la potencia del electrolizador se parte de la demanda eléctrica, esto con el fin de determinar el hidrógeno ( $H_2$ ) a producir. A su vez nos permitirá establecer la cantidad de agua y la electricidad necesaria para la reacción química que tendrá dentro del electrolizador, para lo cual se realiza un valseen químico para conocer las cantidades aproximando esto gracias termoquímica del agua.

### Análisis Termodinámico

Para la reacción del agua en los electrodos del electrolizador es necesario la intervención de la electricidad como catalizador para la extracción del hidrógeno, teniendo en cuenta que el cambio de la entropía en condiciones estándar ( $25^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$ ) es de  $285,43 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$  como se muestra en la Tabla 4.1. En la Figura 4.3. Se muestra tres zonas donde el voltaje termo neutro y el voltaje reversible en función de la temperatura.

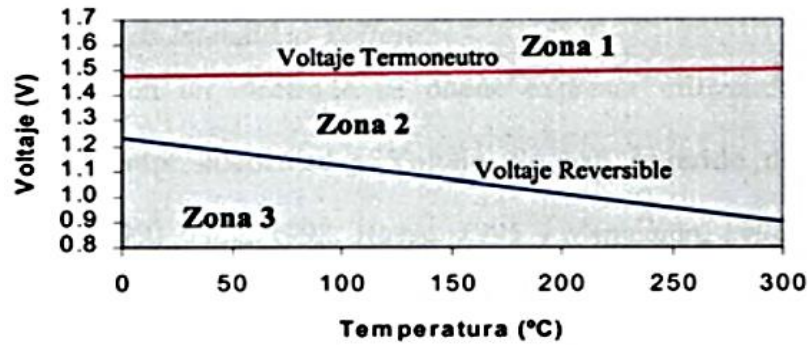


Figura 4.3. Dependencia del voltaje reversible y termo neutro con la temperatura [16].

**Zona 1:** cuando se aplica un voltaje, a una temperatura determinada, superior al voltaje termo neutro para esa presión y temperatura, se produce la electrólisis del agua.

**Zona 2:** Cuando se aplica un voltaje, a una temperatura y presión determinada, que está entre el voltaje termo neutro y el voltaje reversible. Se produce la electrólisis siempre que se aporte como energía térmica [16].

**Zona 3:** Si se aplica un voltaje inferior al voltaje reversible no se producirá la electrólisis del agua y la intensidad consumida por éste será nula [16].

### Potencia teórica del electrolizador

Para el cálculo de la potencia que tendrá el electrolizador se lo podrá determinar con la entalpia, en función de la temperatura y las moles de hidrógeno que tendrá que producir, este cálculo se lo realiza con la ecuación (4.1). cabe recalcar que la entalpia debe está en función de la temperatura y las atmosferas estándar para este cálculo inicial. Considerando el tiempo de trabajo, se puede determinar la energía eléctrico que se requiere el electrolizador con la ecuación (4.2).

$$P_{CE} = \Delta H_R^\circ * N \quad (4.1)$$

Donde

$P_{CE}$  = potencia requerida [W]  
 $\Delta H_R^\circ$  = entalpia en condiciones estándar  
 $N$  = flujo molar en  $(\frac{moles}{s})$

$$W = P_{CE} * hora\ de\ traabajo \quad (4.2)$$

Para conocer la corriente teórica se parte de la ley de Faraday en función de la termodinámica como se muestra en la ecuación (4.8) la ecuación se puede transcribir como se ve en la ecuación (4.8) y teniendo como resultado la ecuación (4.10) en función de del flujo molar para calcular la intensidad teórica. Para tener el voltaje minio teórico se puede calcular con la entalpia del agua en condiciones estándar (25°C – 1 atm) con la ecuación (4.12).

$$m = \frac{PM}{e * F} q \quad (4.3)$$

Donde:

**$m$  = masa de sustancia depositada en el electrodo (gramos).**

$q$  = carga del electrón (constante)= $1.602 * 10^{-19} \frac{C}{electron}$

$e$  = número de valencia del ion.

$F = q * N_a = 96500 \frac{C}{mol}$  (constante de Faraday).

$PM$  = peso molecular (g/g mol)

$M$  = masa molar de la sustancia (gramos/mol).

$q$ = carga (A.s)

$$n = \frac{It}{eF} \quad (4.4)$$

$$I = N * e * F \quad (4.5)$$

Donde:

**$I$  = intensidad de corriente [A]**

$T$  = tiempo transcurrido [seg]

$N$  = flujo molar en  $[\frac{moles}{s}]$ .

$$N = \frac{m}{PM} \quad (4.6)$$

$$V_{th}^0 = \frac{\Delta H}{e * F} \quad (4.7)$$

Donde:

**$V_{th}^0$  = voltaje teórico**

$\Delta H$ = entalpia

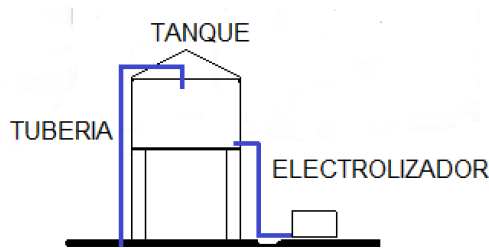
$E$ = número de electrodos (2)

$F$ = constante de Faraday

### 4.3.3. Tanque de suministro del agua.

Como el electrolizador necesita un constante flujo de agua para la reacción es necesario un tanque de suministro, así garantiza una constante circulación, en la Figura 4.4. Se puede apreciar cual sería la lógica del recorrido de agua. En la norma INEN 1108 se establece los requerimientos que debe tener al almacenar el agua en un lugar fijo, la norma sugiere que se debe tener en cuenta, un caudal contra incendios y un caudal contra fallas.

Usual mente para casos técnicos se considera solo el caudal de fallas, asumiendo el tiempo de fallas promedio, pero se desprecia el caudal contra incendios. La norma INEN 1108 establece un tiempo de fallas entre 2-4 horas, para determinar el caudal de fallas se usa la ecuación 4.1. Una vez establecido el volumen adicional se puede dimensionamiento el tanque de suministros, para esto se parte de la ecuación 4.9.



**Figura 4.4.** Sistema de producción de hidrógeno.

$$v_f = 3,6 * Q_m * T_f \quad (4.8)$$

Donde:

**V<sub>f</sub>**= volumen contra fallas ( $m^3$ )

**Q<sub>v</sub>**= volumen de distribución ( $\frac{lt}{h}$ )

**T<sub>f</sub>**= tiempo de falla ( $h$ )

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (4.9)$$

Donde:

**V** = volumen del tanque ( $m^3$ )

$\pi$  = Constante (3.14159)

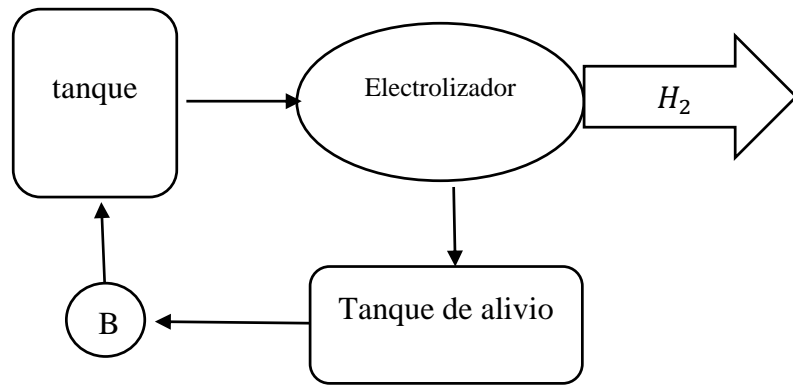
**h** = altura (m)

La altura y radio del cilindro se puede obtener despejando de la ecuación (4.9).



#### 4.3.4. Sistema de Suministro de Agua.

Como se muestra en la Figura 4.4. se muestra el proceso de la recirculación que tendrá el líquido, la cual ha será suministrada mediante la gravedad con la altura del soporte del tanque de suministro de agua y recircular el exceso. En la Figura 4.5. se observa el proceso de recirculación que tendrá el agua, esta se almacenará en un tanque de alivio y luego ser transportado al tanque principal mediante una bomba. Para calcular la potencia de la bomba se utiliza la siguiente ecuación (4.10) se observa el proceso de cálculo para el sistema de bombeo, para lo cual se considera variables ambientales.



**Figura 4.5.** proceso de recirculación del agua

$$Pot = Pesp * H * Qv \quad (4.10)$$

Donde:

**Pot =Potencia de la bomba [W]**

$Pes=$  Peso especifico [ $\frac{N}{m^3}$ ]

$H=$  altura dinámica [m]

$Q=$ Caudal [ $\frac{m^3}{s}$ ]

#### 4.3.5. Almacenamiento de Hidrógeno.

Para el almacenamiento, el hidrógeno tiene que pasar un proceso de destilación primero tiene que pasar un proceso de purificación y luego será guardado para su posterío uso en cualquier hora. Para estabilizar la entrada para la pila de combustible es necesario un almacenamiento seco de hidrógeno que garantice un elevado rendimiento y producción constante.

#### Separador de gas.

El separador de gas separa las moléculas filtradas de agua del hidrógeno al salir del electrolizador, este proceso es cinético, al llegar al separador choca con el deflector interno causando una separación fluyente a la salida del separador, quedando la solución liquida en la

parte inferior del separador y el gas sigue su proceso. El tanque se dimensiona con el área transversal de la tubería y el cálculo el diámetro y longitud del cilindro con la Ecuación 4.11. y 4.12.

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_g}{\pi}} \quad (4.11)$$

Donde:

**D= diámetro del separador [m].**

$A_g$ = Área de la sección transversal del fluido de salida del gas [ $m^2$ ]

Para la longitud se toma a partir de la ecuación (4.14), y para el volumen de retención de carga se toma de la ecuación (4.15).

$$L = \frac{V_{rc}}{A_L} \quad (4.12)$$

$$V_{rc} = t_r * V_f \quad (4.13)$$

Donde

**$V_{rc}$ = volumen de retención de carga [A].**

$t_r$ = tiempo de retención [s].

$V_f$ = flujo de fluido [ $\frac{m^3}{s}$ ]

$A_g$ = Área de la sección transversal del fluido de entrada del gas [ $m^2$ ]

### Secador de gas.

El propósito de un secador de gas es evitar la condensación, para ello es importante saber que la presión y la temperatura juegan un rol importante porque afectan el contenido del hidrógeno, si la temperatura aumenta, la capacidad de retener el agua en el aire aumenta, como regla, para cada aumento de 20°F la temperatura del gas de entrada se duplica la carga de humedad en el secado, de forma similar el gas varía en el ambiente de forma inversamente proporcional a la presión, si la presión aumenta tiende a extraer la humedad.

A esta situación los secadores tienen factores de corrección debido a estas dos relaciones. se recomienda que al escoger el secador se use el escenario más crítico. En la Tabla 4.2. se muestra los factores de corrección en función de la temperatura y la presión. En Tabla 4.3. se muestra el factor de la temperatura ambiental.

**Tabla 4.2.** Factores De Corrección De Capacidad Para Condiciones De Operación.

Presión (psig)	Temperatura (F)											
	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
60	0,95			0,85	0,76	0,67	0,59	0,52	0,46	0,41	0,36	
80	1,10			0,98	0,88	0,77	0,68	0,60	0,56	0,48	0,42	
100	1,25			1,12	1	0,88	0,78	0,69	0,61	0,54	0,48	
120	1,32			1,18	1,06	0,93	0,82	0,73	0,64	0,57	0,50	
140	1,38			1,24	1,11	0,97	0,86	0,76	0,67	0,60	0,53	
160	1,45			1,29	1,16	1,02	0,90	0,80	0,70	0,62	0,55	
180	1,50			1,34	1,20	1,05	0,93	0,82	0,73	0,65	0,57	
200	1,54			1,38	1,23	1,08	0,96	0,85	0,75	0,67	0,59	
230	1,58			1,42	1,26	1,11	0,99	0,87	0,77	0,69	0,60	

**Tabla 4.3.** Factores De Corrección De Capacidad Para La Temperatura Ambiente.

Factor	Temperatura Ambiente (F)							
	75	80	85	90	95	100	105	110
Factor	1,09	1,09	1,09	1,09	1,05	1	0,96	0,92

Multiplicado el factor de operación y el factor de temperatura se obtiene la eficacia de la capacidad nominal para el secador de aire, para calcular el tamaño del secador, se tiene que dividir el flujo total por el factor de corrección. Una vez determinado la capacidad necesaria se puede escoger el modelo del secador. Se debe tener en cuenta que la ubicación del secador puede dar diferente rendimiento del secador.

### Tanque de almacenamiento.

Para el almacenamiento de hidrógeno generalmente se usan tanques de acero de carbono según el tipo de tanque a usar. Considerando el hidrógeno como un gas ideas la cual viene expresa con la ecuación (4.14).

$$v = \left(\frac{nR}{P}\right) * T \tag{4.14}$$

Donde:

**v = volumen [m<sup>3</sup>]**

**P = presión de operación [kPa]**

**n= Numero de moles [mol]**

**R= Constante de los gases [0,082  $\frac{atmL}{°Kmol}$ ]**

**T= Temperatura de operación [°K]**

#### 4.3.6. Motor de hidrógeno.

Como la celda de combustible es una maquina térmica y produce trabajo, se tiene que vasar en la energía libre de Gibbs lo que indica el máximo trabajo que puede producir al llegar al equipo.

Para calcularlo se parte de la energía Gibbs el hidrógeno de entrada.

$$\Delta G = n\Delta G_{f_{H_2O}}^0 - (n\Delta G_{f_{H_2}}^0 + n\Delta G_{f_{O_2}}^0) \quad (4.15)$$

Para la potencia obtenida del hidrógeno se puede calcular con la siguiente ecuación (4.20).

$$P_{PEMFC} = \Delta G * N \quad (4.16)$$

Donde:

$P_{PEMFC}$  = potencia [W].

$\Delta G$  = energía libre de Gibbs

$N$  = moles de entrada de hidrógeno [ $g \frac{mol}{h}$ ]

La corriente de la celda se calcula de la misma forma para el electrolizador mediante la ley de Faraday. La corriente total se lo calcular con la ecuación (4.18).

$$N_c = \frac{N}{n^{\circ}C} \quad (4.17)$$

Donde:

$N_c$  = flujo molar en cada celda ( $\frac{mol}{s}$ )

$N$  = flujo molar total [ $\frac{mol}{s}$ ]

$n^{\circ}C$  = número de mono celdas

$$I = N_c * e * F \quad (4.18)$$

Para evaluar el voltaje teórico se calcula como en el electrolizador con la ecuación (4.19).

$$E_r^0 = \frac{\Delta G^0}{e * F} \quad (4.19)$$

Donde:

$E_r^0$  = tensión reversible en función de energía libre de Gibbs

$\Delta G^0$  = energía libre de Gibbs

$e$  = es el número de electrones = 2

$F$  = es la constante de Faraday =  $\frac{96,485C}{mol}$

Para calcular la potencia termodinámica se debe saber la presión y la temperatura de entrada para lo cual es necesario usar la ecuación (4.20) de Nernst para determinar la potencia real.

$$E_{op} = E_{eq}^0 - \frac{RT}{e * f} \ln \left( \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} * p_{O_2}^{0,5}} \right) \quad (4.20)$$

Donde:

**$E_{op}$  = potencial termodinámico**

$E_{eq}^0$  = potencial estándar termodinámico

T = es temperatura de operación (K)

e = es el número de electrones transferidos

F = constante de Faraday

La potencia total de la celda en la suma de potencias de cada celda, y la corriente es la misma para cada celda entonces la potencias que suministra dependerá del número de mono sedas demostrada en la Ecuación 4.21.

$$E_T = E_{op} * nec \quad (4.21)$$

Donde:

**$E_T$  = voltaje total obtenido.**

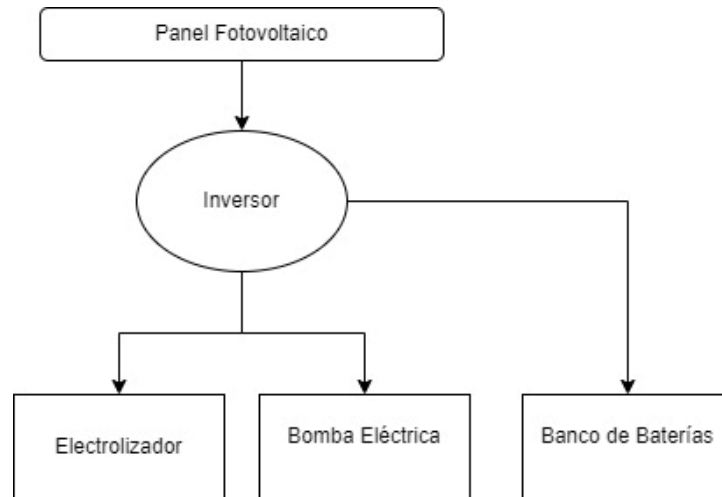
$E_{op}$  = potencia termodinámica.

nec = número de mono celdas.

#### 4.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Una vez determinado la demanda requerida de los equipos necesario que intervienen en el sistema, se procede a dimensionar el sistema fotovoltaico, para dimensionar se necesita el catálogo de la fábrica ya que están las variables necesarias que es la potencia pico ( $Wp$ ), y el voltaje máximo del sistema ( $V_n$ ). Así se podrá saber la magnitud del sistema necesarios para el fotovoltaico.

En la Figura 4.6 se observa el flujo del sistema de la plata de fotovoltaico, este consiste en generar energía mediante los paneles solar y pasarlo al inversor este convertirá la corriente que viene de los módulos solares que es una corriente continua a corriente alterna manteniendo un coeficiente de uso de 0,7. Después será alimentada suministrada energía a los equipos.



**Figura 4.6.** Diagrama desarrollado para el sistema fotovoltaico.

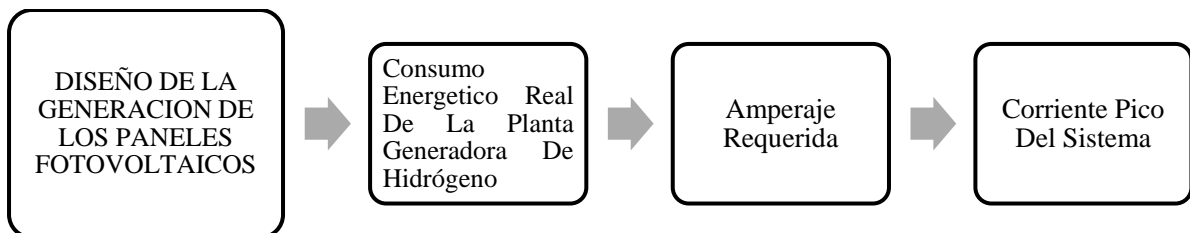
### Determinación La Irradiación De La Ubicación.

Para la obtención de las HSP se debe realizar el cálculo de las horas solares pico, que se definen como las horas que al dividir la energía incidente por unidad de superficie a lo largo de un día típico este dividiendo para un valor estándar de  $\frac{100W}{m^2}$ :

$$HSP = \frac{Irradiaciónsolar}{1000w/m^2} \quad (4.22)$$

### Diseño de la generación de los paneles fotovoltaicos.

Para el diseño de la obtención del consumo diario real se debe tomar la siguiente forma ya que mantiene el consumo energético diario de un valor teórico y el factor de rendimiento donde se muestra en la siguiente Figura 4.6.



**Figura 4.7.** Proceso De Resolución Del Consumo Energético Real [31].

### Consumo energético real de la planta generadora de hidrógeno

Para resolución del consumo energético real se debe tomar y/o considerar las siguientes variables como es la potencia general del sistema, factor de rendimiento y la energía teórica general.

**Factor rendimiento energético.**

El rendimiento energético se refiere a la eficiencia de la instalación en condiciones reales de una operación, se calcula el coeficiente de eficiencia energética mediante la ecuación (4.23).

$$fr = (1 - kv - kb) * \left(1 - \frac{n * ka}{pd}\right) \quad (4.23)$$

Este sistema está considerando varios factores de pérdidas de eficiencia como:

***fr*** = factor rendimiento energético

*kv* = Las pérdidas por temperatura = 0,05.

*kb* = Representa a la eficiencia energética del acumulador = 0,05.

*ka* = Es la eficiencia energética que tienen las baterías = 0,005.

*Pd*: Es la profundidad de descarga diaria de las baterías = 80%.

*n* = Son los días de autonomía del sistema.

**Consumo Energético Diario.**

Para el consumo Energético diario se refiere a la carga del sistema que tiene por hora en un día (*Wh/dia*), es la potencia que se encuentra instada por el factor de crecimiento lo cual se verá en la siguiente ecuación (4.24).

$$E_d = E * f_c \quad (4.24)$$

Donde:

***Ed*** = en el consumo diario energético [*Wh*].

*E* = es la energía total del sistema [*Wh*].

*Fc* = es el factor de crecimiento. Se considera un 20%.

**Consumo Energético Real.**

El consumo energético diario presenta un valor teórico, entonces la obtención de dicho consumo real se relaciona con el consumo diario y el factor de rendimiento para el proceso, esto se presenta en la ecuación (4.25).

$$E_r = \frac{E_d}{fr} \quad (4.25)$$

Donde:

***Er*** = El consumo Energético real [*Wh*].

*Ed* = consumo energético Diario [*Wh*].

*fr* = Factor rendimiento energético.

**Amperios hora requeridos para el sistema.**

La fuente de energía depende de un banco de baterías, es decir cuando el sistema no pueda abastecer por imperfecciones o no haiga mucha radiación solar este banco de baterías tendrá como función de estabilizar el proceso, uno de los factores de implementación de baterías es para el funcionamiento óptimo del diseño de hidrógeno en la siguiente ecuación (4.26) refleja cuanta corriente necesita por hora.

$$I_b = \frac{Er * n}{Vsistema * Ef inv} \quad (4.26)$$

Donde:

**$I_b$  = son los amperios hora requeridos en el banco de baterías [A].**

$Er$  = es el consumo diario real [Wh].,

$V sistema$  = es el voltaje de funcionamiento del sistema [v].

$n$  = los días de autonomía del sistema.

$Ef inv$  = es la eficiencia máxima el Inversor.

**Corriente pico del sistema.**

La corriente Pico del Sistema es la relación entre los amperios hora de la batería y las horas solares pico en el peor mes del año, este corriente pico del sistema, asimismo da a entender la idea de cuánto va a circular por el sistema la corriente y con el valor dada se pueda realizar la determinación del tamaño del conductor y las protecciones. Se toma en cuenta el HSP mínimas del mes para poder calcular la corriente pico del sistema y esto se verá en la siguiente ecuación (4.27).

$$Ips = \frac{I_b}{HSP minimas} \quad (4.27)$$

Donde:

**$Ips$  = Es la corriente máxima del sistema [A].**

$HSP minimas$  = Son las horas solares pico del peor mes del año.

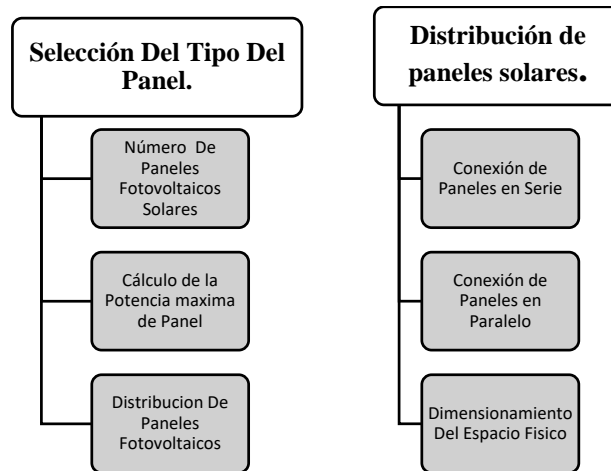
$Ib$  = Es el amperio hora requeridos en el sistema [Ah]

**Selección del tipo de panel solar.**

Para la selección del tipo de paneles solares se debe tener en cuenta el tipo de panel adecuado, asimismo existen en los mercados paneles solares de distinta marca ya sea el autor que prefiera, los más habituales de tipos de paneles fotovoltaicos son los monocristalinos y policristalinos.



Son muy pocas las diferencias técnicas como económicas de los paneles ya que hoy en día el avance es muy progresivo en la tecnología en los paneles fotovoltaicos. En la siguiente Figura 4.7 se verá el proceso para identificar la selección del tipo del panel y las cantidades de módulos necesarios según la potencia pico que tenga el panel y el espacio necesario.



**Figura 4.8.** Proceso Para La Selección Del Paneles Fotovoltaico [31].

#### **Cálculo de número de paneles.**

Para el cálculo del número de paneles se debe tener en cuenta el número de cargas conectadas al sistema transformado en energía lo cual se revisó en el apartado de diseño de generación de la ecuación (4.28), la ecuación (4.28) menciona la cantidad necesaria de paneles fotovoltaicos como factor de variable constante la potencia del panel y la irradiación promedio del lugar o en algunos casos recomienda algunos autores utilizar la irradiación mínima del año.

$$\text{Número De Paneles} = \frac{\text{Energía}}{HSP * W_p} \quad (4.28)$$

Donde:

**Energía** = son los *Wh* de la planta [*Wh*].

*HSP* = son las horas solares Pico.

*W<sub>p</sub>* = Es la potencia del panel en [*Wp*].

#### **Cálculo de la potencia máxima de generación.**

Es importante tener en cuenta la potencia nominal máxima de cada panel fotovoltaico y la cantidad dada de paneles solares, el cálculo de la potencia máxima de generación por lo cual se debe revisar en la ecuación (4.29) siguiente.

$$P_{Gmax} = N_{pan} * P_{max} \quad (4.29)$$

Donde:

**$P_{Gmax}$**  =Es la potencia máxima de generación en [Wp].

$N_{pan}$  =Es el número de paneles solares.

$P_{max}$  =Es la potencia máxima nominal del panel fotovoltaico [W].

### **Distribución de los paneles solares.**

Para la distribución de los paneles serán conectados en dos formas puede ser en serie o en paralelo, se debe tomar los valores nominales de fábrica de los paneles.

### **Conexión de paneles solares en serie.**

Para conocer la cantidad de paneles que serán conectados en serie se verifica con la siguiente ecuación tomando en consideración el tipo de sistema de voltaje y el voltaje del panel.

$$P_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{panel}} \quad (4.30)$$

En donde:

**$P_{serie}$**  =Es el número de módulos solares que serán conectados en serie

$V_{panel}$  = Es la tensión nominal del módulo solar seleccionado.

### **Conexión De Paneles Solares En Paralelo.**

La cantidad que serán conectados en paralelo los paneles agrupados y se realiza con la siguiente ecuación (4.31).

$$P_{paralelo} = \frac{T_{paneles}}{P_{serie}} \quad (4.31)$$

Donde:

**$P_{paralelo}$**  = Es el número de módulos conectados en paralelo.

$T_{paneles}$  = Es la totalidad de módulos conectados

$P_{serie}$  = Es la conexión de paneles fotovoltaicos en serie.

Al despejar la anterior ecuación (4.35) el total de paneles debe dar la cantidad exacta de paneles fotovoltaicos como se muestra en la siguiente ecuación (4.36).

$$T_{paneles} = P_{paralelo} * P_{serie} \quad (4.32)$$

### Dimensionamiento del espacio físico para los paneles.

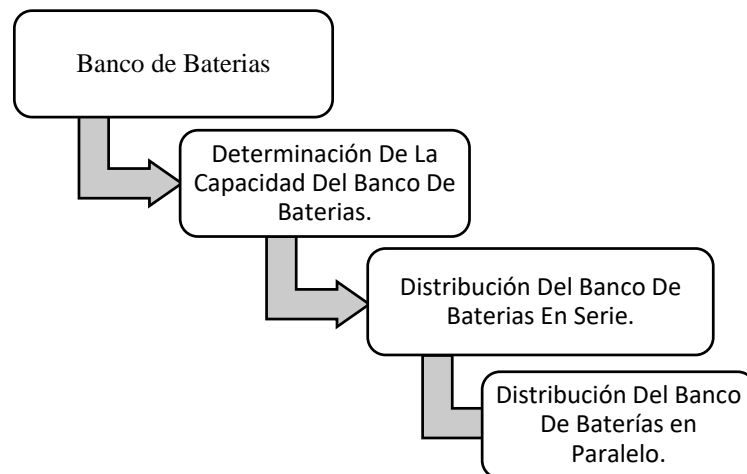
Conociendo el número de paneles, se puede aproximar las dimensiones que puede ocupar los paneles hay que tener en cuenta la ficha técnica o catálogo de los paneles para saber que dimensiones tiene cada panel solar. Recordar que el espacio de la instalación es considerado según el área disponible por lo cual según el criterio puede dividirse en grupos obteniendo una distribución más equitativa en el lugar establecido.

$$\text{ancho que ocupa} = \text{ancho del panel} * P_{\text{serie}} \quad (4.33)$$

$$\text{largo que ocupa} = \text{largo del panel} * P_{\text{paralelo}} \quad (4.34)$$

### 4.5. BANCO DE BATERÍAS.

Para el banco de baterías es un grupo de dos o más baterías que están conectadas en serie como en paralelo lo cual abastece con amperaje al sistema de producción en caso de pérdidas de irradiación en los paneles solares. En el siguiente diagrama de flujos de la siguiente Figura 4.8 menciona la realización del sistema de banco de baterías. El banco de baterías está con la finalidad de abastecer cuando el sistema fotovoltaico no esté en su óptima operación, lo cual se considera la capacidad total de las baterías por hora



**Figura 4.9.** Diagrama De Flujos De Dimensionamiento De La Baterías [31].

### Capacidad del banco de baterías.

Para la determinación de los bancos de baterías se debe tomar en cuenta el amperaje hora que, así como las horas de autonomía en condiciones totalmente nubladas que puede ser 24 horas para que las baterías puedan abastecer la carga del sistema del hidrógeno. Por lo cual está en la

siguiente ecuación (4.35). Considere la ficha técnica o catálogos de baterías para seguir desarrollando los siguientes literales

$$I_{bn} = I_b * n \quad (4.35)$$

En donde:

**$I_{bn}$**  = es la capacidad nominal del banco de baterías [Ah].

$I_b$  = son los amperios hora requeridos en el banco de baterías [Ah].

$n$  = número de días.

#### **Distribución del banco de baterías en serie.**

Para obtener el diseño de repartición de las baterías en serie se plantea en la siguiente ecuación (4.36).

$$B_{serie} = \frac{V_{sistema}}{Vn} \quad (4.36)$$

En donde:

**$B_{serie}$**  = es el número de baterías al conectarse.

$Vn$  = es el voltaje nominal de la batería dada por el fabricante [v]

#### **Distribución Del Banco De Baterías En Paralelo.**

Para la determinación de banco de baterías en paralelo se calcula con la siguiente ecuación (4.37).

$$B_{paralelo} = \frac{Ibn}{\frac{Pro.Desc}{In}} \quad (4.37)$$

En donde:

**$B_{paralelo}$**  = Banco de baterías en serie

$Pro.Desc$  = es la profundidad de descarga de la batería

$In$  = es la capacidad nominal del sistema de la batería dada por el fabricante [Ah].

Ya conociendo el número de baterías en serie y las de paralelo se puede conocer el total de las baterías del sistema, en la siguiente ecuación (4.42) se muestra el cálculo.

$$T_{baterias} = B_{paralelo} * B_{serie} \quad (4.38)$$

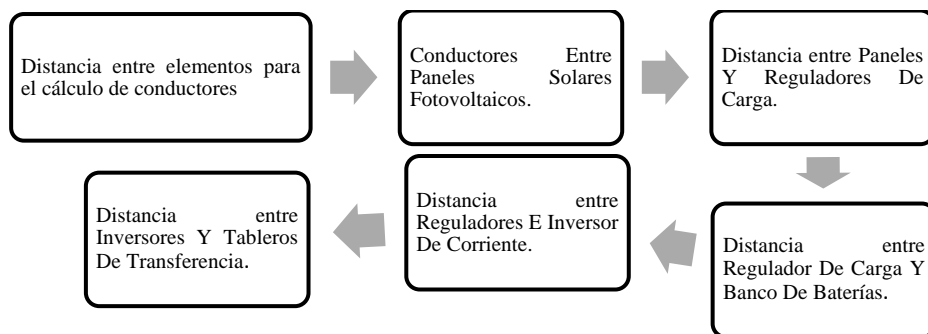
#### 4.6. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL INVERSOR.

Para los paneles siempre tienen que operar en condiciones de medición estándar es rara las ocasiones que se encuentre en la operación real, los inversores en la mayoría de los casos están funcionando. Para su dimensión se debe tomar la sumatoria de todas las potencias nominales de los equipos y trabaja con el coeficiente normalmente esta entre 0,5 a 0,7 lo cual se muestra en la siguiente ecuación (4.39).

$$P_{inversor} = \frac{\sum P_{nominal}}{0,7} \quad (4.39)$$

#### 4.7 SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Ya conociendo la agrupación que tiene los elementos del central fotovoltaico se debe estimar la distancia entre todos los elementos con la mayor precisión, entre los paneles y regulador etc. etc. Por lo cual se verá en el siguiente flujograma de Figura 4.10.



**Figura 4.10.** Flujograma Para La Distancia Entre Elementos [31].

Al momento de instalar los paneles fotovoltaicos se debe considerar un espacio entre los mismos tanto para el proceso de instalación como para el mantenimiento, valor que se puede calcular en base a las ecuaciones (4.40) a (4.43).

#### Distancia entre paneles solares fotovoltaicos.

$$Conductores\ entre\ paneles = ancho\ del\ panel * Paneles_{paralelo} \quad (4.40)$$

#### Distancia entre paneles y reguladores de carga.

$$Conductores\ entre\ paneles\ y\ reguladores = d_{horizontal} + d_{maxvertical} \quad (4.41)$$

**Distancia entre regulador de carga y banco de baterías.**

$$\text{Conductores entre reguladores y baterías} = d_{\text{horizontal}} + d_{\text{maxvertical}} \quad (4.42)$$

**Distancia entre reguladores de inversor de corriente.**

$$\text{Conductores entre reguladores e inversores} = d_{\text{horizontal}} + d_{\text{maxvertical}} \quad (4.43)$$

**4.7.1. Cálculo de corriente de consumo.**

Para el cálculo del consumo se toma como variables como la corriente de carga y el sistema solar fotovoltaico, en los siguientes puntos se muestra los cálculos de la corriente de consumo. Ya que es la corriente necesaria para dimensionar la sección del conductor del sistema fotovoltaico.

**Corriente de carga del sistema.**

$$I_{\text{sistema}} = \frac{P_{\text{sistema}}}{V_{\text{diseño}}} \quad (4.44)$$

**Corriente de carga del inversor.**

$$I = \frac{P_{\text{inversor}}}{V_{\text{diseño}}} \quad (4.45)$$

**Corriente de cada regulador de carga.**

$$I_{\text{regulador}} = I_{\text{inversor}} * Fr_{\text{inv}} \quad (4.46)$$

Donde:

***I regulador*** = Corriente de cada regulador de carga.

*I inversor* = es la corriente de carga del inversor [A].

*Fr inv* = es el factor de rendimiento del inversor lo cual debe ser mayor del 93%.

**4.7.2 Dimensionamiento de Los Conductores Y Protecciones.**

Los elementos de la central fotovoltaica están en un mismo espacio físico, para que los elementos estén los más cercanos posible y así el cableado sea de un corto evite las pérdidas por caída de voltaje. Estas corrientes no deben sufrir altas variaciones, eso tiene que ver mucho que ver si va a reducir la caída de la tensión ya que las centrales están manejando voltajes pequeños, pero están produciendo corrientes muy elevadas.

**Tipo de cableado para la instalación fotovoltaico**

Como la instalación está dentro de las instalaciones de diseño ya que se busca que no esté lejos y por lo cual se debe analizar un conductor que sea adecuado para cualquier tipo de áreas del sector y debe cumplir con todas las especificaciones climáticas y técnicas requeridas.

**Sección transversal de un conductor entre dos equipos.**

Para el cálculo de la sección transversal del conductor de un tramo se está considerando la corriente de cortocircuito que tiene los paneles fotovoltaicos es decir se utiliza la corriente más la multiplicación de 1,25 que debe soportar el valor de la corriente, otra variable se considera es el número de los paneles lo cual se puede ver en la siguiente ecuación (4.47).

$$I_{max} = I_{sc} * \#arreglos \text{ de paneles} * 1,25 \tag{4.47}$$

Para la caída de tensión teórica para la conexión entre paneles se tomará la siguiente ecuación (4.48).

$$\Delta V = \frac{\Delta V_{teorica} * 100}{V_{sistema}} \tag{4.48}$$

Donde:

$\Delta V$  =Caída de tensión.

$\Delta V_{teorica}$  =Caída de tensión Teórica.

$V_{sistema}$  =Voltaje del Sistema.

Y para la sección transversal del conductor se considera unas variables como la corriente máxima del sistema, la longitud, la caída de voltaje y la conductividad del conductor lo cual está reflejado en la siguiente ecuación (4.49). Un factor importante es la conductividad ya que en el mercado el más utilizado es el cobre sino revisar en que elemento desea utilizar lo cual está en la Tabla 4.4 siguiente.

$$S = \frac{2 * L * I_{max}}{\sigma * \Delta V} \tag{4.49}$$

Donde:

$S$  =Sección transversal [ $mm^2$ ].

$L$  = Longitud [ $m$ ].

$\sigma$  = conductividad del cable [ $\frac{MS}{m}$ ].

$I_{max}$  = Corriente Máxima Que Pasara Por El Conductor [ $A$ ].

$\Delta V$  = Caída de voltaje.

En la Tabla 4.4. menciona la tensión máxima admisible que puede soportar un circuito, esto puede ser por el porcentaje máxima para el circuito tanto como para corriente continua o para corriente alterna. la caída de tensión tiene como medida frecuente en por ciento de la tensión nominal de la fuente de la que está alimentada. Si un circuito esta alimentado a 400V la caída máxima de admisión es de 5%, esto significa que un tramo tendrá su máximo de 20V que sería la perdida con respecto a la tensión.

**Tabla 4.4.** Caída De Tensión Máxima Admisible [31].

CAIDA DE TENSION	
Circuito	Caída de tensión
Para circuito de CC	1V=2,083%
Para circuito de AC	5V=4,16%

#### 4.8. INVERSOR ON-GRID

este inversor se caracteriza en gestionar las diferentes fuentes de energía como la energía fotovoltaica y/o desde la red eléctrica, permitiendo alimentar los consumos energético. Con esta tecnología se puede aprovechar mejor la energía fotovoltaica y ahorrar la energía consumida por la red. Tiene protecciones contra polaridad inversa DC, contra cortocircuito AC, contra sobretensiones[37].



**Figura 4.11.** inversor On Grid [37].



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El caso de estudio se realizó en la ciudad de Shushufindi, provincia de Sucumbíos, el trabajo consiste en cubrir la demanda entre el intervalo de tiempo de 03:00 a 09:00 de la mañana, la planta de producción de hidrógeno (PPH) estaría trabajando en horarios del día para poder almacenar Hidrógeno como energía alternativa, posteriormente ser convertida en energía eléctrica mediante un motor de hidrógeno para combatirlo en electricidad para cubrir la demanda

mencionada.



**Figura 5.1.** Ubicación de la panadería y pastelería “Sabor”.

### 5.1. ESTIMACIÓN DE ÁREA DISPONIBLE PARA EL CASO DE ESTUDIO.

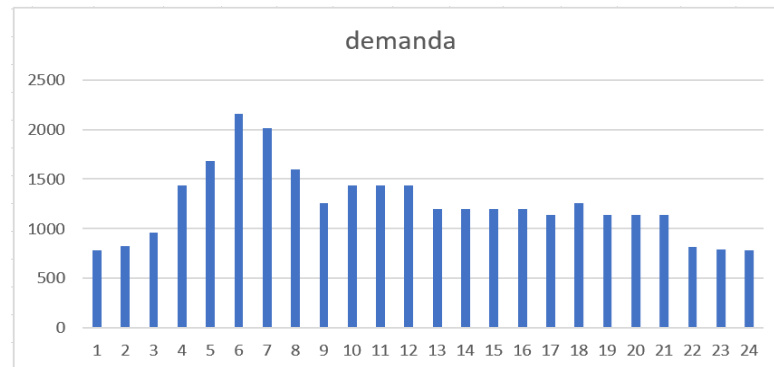
Para el caso de estudio que se encuentra ubicada en la ciudad de Shushufindi Av. Oriental y primero de mayo sector Shushufindi Central, las coordenadas georreferencias están la siguiente Tabla 5.1. Lo cual este estudio se limita solo para el negocio o local ya que en las madrugadas tiene una mayor demanda y está ubicado en la principal de la ciudad de Shushufindi.

**Tabla 5.1.** Latitud y Longitud De La Panadería y Pastelería “Sabor” [25]

LATITUD Y LONGITUD	
LATITUD:	0,5
LONGITUD:	-76,6

Para empezar la demanda se obtuvo información de la planilla y el plan nacional de electrificación del 2022 para saber la curva de la demanda promedio para dimensionar, cabe recalcar que la metodología será implementada cuando esté en su máximo pico de demanda del

local comercial y con un estudio de cargas se pudo determinar lo siguiente que está en la Figura 5.2.

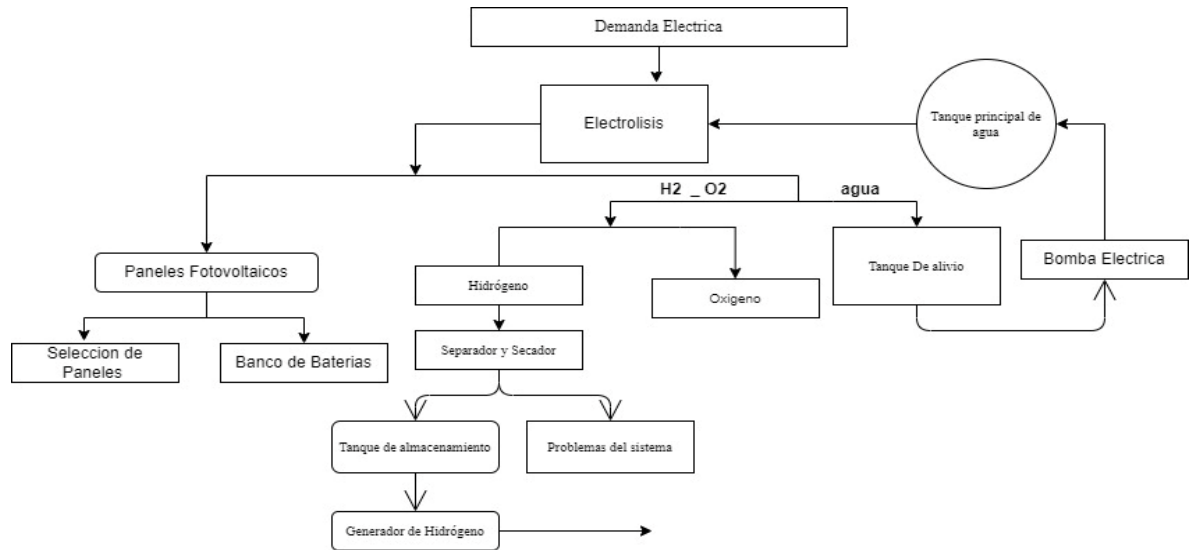


**Figura 5.2.** Curva de la demanda diaria del local comercial.

## 5.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En este documento tiene como fin dar un análisis de la demanda de la panadería, dentro de este marco se obtuvo la demanda mensual mediante la planilla de luz de CENEL Sucumbíos dando como resultado una demanda de 1109 kWh. Este estudio va a cubrir teóricamente seis horas de funcionamiento en el transcurso de la mañana. En la Tabla 5.2. se observa que el día con máxima demanda es el miércoles, el cual tiene una potencia máxima de 2.52 kW.

En la figura 5.2. Se muestra el procedimiento que tendrá el sistema al partir de la demanda requerida, como se observa el primer paso es determinar el electrolizador mediante la electrolisis del agua luego procede a determinar la cantidad de agua y el voltaje para su funcionamiento, una vez determinado la planta de hidrógeno se dimensiona el sistema del de almacenado donde será calculado el separador, y posteriormente distribuida al motor de hidrógeno.



**Figura 5.3.** Flujograma para determinar la potencia de los equipos requeridos.

### 5.2.1. Generación de hidrógeno.

Para calcular el hidrógeno que cubrirá la demanda eléctrica, se lo determina mediante la termoquímica y la electrolisis del agua, la reacción química que produce y la demanda necesaria se puede observar en la Tabla 5.3. para esto se procede a determinar el hidrógeno requerido mediante balance químico, teniendo en cuenta la demanda de  $2.520 \text{ kW}$ , Para determinar el trabajo que tiene el hidrógeno en un mol, se toma el calor de atomización en la tabla de sus propiedades Tabla 4.1. que tiene un valor de  $285 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$  y el trabajo que exige la demanda es  $46656 \text{ kJ}$  se puede determinar la cantidad de hidrógeno requerido por la demanda.

$$\text{Trabajo}_{17\%} = 48,7\text{kJ} + 70,762 \text{ MJ} = 70,752 \frac{\text{MJ}}{\text{mol}}$$

$$\text{Trabajo}_{17\%} = 70,752 \frac{\text{MJ}}{\text{mol}} * \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ g}} = 141,504 \frac{\text{MJ}}{\text{g}}$$

$$\text{Hidrogeno} = \frac{141,504 \frac{\text{MJ}}{\text{g}}}{285 \text{ kJ}} = 0,497 \text{ kg}$$

mediante esto se asume que por la demanda requerida de  $2,520 \text{ kW}$  es necesario  $0,497 \text{ kg}$  hidrógeno durante las 6 horas, una vez determinado la cantidad de hidrógeno se produce a determinar la potencia del electrolizador para decidir la cantidad de hidrógeno requerido, de igual manera se lo puede calcular mediante la entalpia y el porcentaje de perdida que varía de (15% - 20%).

Una vez determinado el hidrógeno que se va a ocupar, se procede a calcular los parámetros para el electrolizador, como es las potencias, corriente y voltaje que tendrá el electrolizador, para lo cual se usa la entalpia de la reacción, tomando como base la cantidad de hidrógeno a producir de 0,497 kg la potencia que necesitar el electrolizador se lo puede calcular con la ecuación (4.16). el sistema trabajara durante 10 y 17% de pérdida:

$$\begin{aligned}
 demanda_{17\%}(6h) &= 497 \text{ g} \\
 PCE &= 285.73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} * 22,1832_d \frac{\text{mol}}{\text{h}} = 6338,4057 \text{ kJ} \\
 PCE_{17\%} &= 2,0820 \text{ KWh}
 \end{aligned}$$

Mediante la ecuación (4.5) se procedió a calcular el voltaje y la corriente teórica del electrolizador.

$$\begin{aligned}
 I &= 0,07936 \frac{\text{mol}}{\text{s}} * 2 * 96485,33 \frac{\text{C}}{\text{mol}} = 4,9177 \text{ A} \\
 V &= \frac{285,83 \text{ kJ}}{2 * 96485,33 \frac{\text{C}}{\text{mol}}} = 1.4812 \text{ v}
 \end{aligned}$$

### 5.2.1.1. Modelo del electrolizador


El electrolizador se lo puede escoger mediante el hidrógeno a producir. Con base al estudio que se realizó anteriormente se determinó una potencia de 1.4790 kWh y un hidrógeno requerido de 31,85  $\frac{\text{g}}{\text{h}}$ . para el modelo del electrolizador se observa en el catálogo de “National Renewable Energy Laboratory” que indica dos modelos aptos para el estudio:

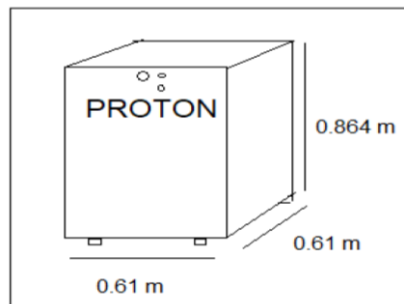
**Tabla 5.2.** Tipos de electrolizador recomendable[38]

Avalanche Hydrofiller 15	Proton HOGEN 20
Hidrógeno 0.04 kg	Hidrógeno 0.04 kg
Potencia 2kw	Potencia 3kw
Tecnología: Unipolar Alkaline	Tecnología: PEM
Vita útil: _____	Vital útil: 5 a 7 años

Como se muestra en la tabla 5.2. mediante el catálogo existe dos opciones, para el caso se estudió, mediante las comparaciones establecida se tomó en consideración el año de vida y sus tecnologías, para este casi se escogió el modelo Protón Hogern 20 por su tecnología siendo PEM, a comparación de los electrolizadores alcalinos en PEM no usa sustancias para las conducciones de iones, si no que este forado por membrana solida conductora de iones.

**Tabla 5.3.** Ficha técnica del electrolizador [38].

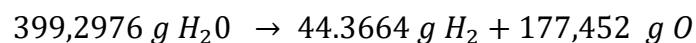
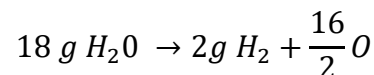
Modelo del fabricante	Teledyne HM.125	 <p>NiGen LCMS 34.1 Laboratory Nitrogen Gas Generator</p>
Tecnología	Bipolar Alkaline	
Ratio de producción de hidrógeno $Nm^3/h$ min	+1	
Ratio de producción de hidrógeno $Nm^3/h$ max	7	
Ratio de producción de hidrógeno $kg/h$	0,6	
Presión de producción de hidrógeno (psig)	100	
Energía necesaria $kWh/Nm^3$	5,7	
Energía necesaria $kWh/kg$	63,4	
Potencia requerida Kw	40	
Pureza de hidrógeno %	99,8	
Vida útil años	15	



**Figura 5.4.** Dimensiones del electrolizador marca Protón [38].

### 5.2.1.2. Tanque de almacenamiento

Una vez determinado la cantidad del hidrógeno de  $44.3664\text{ g}$  que va a consumir el electrolizador, se procede a calcular la cantidad de agua que será necesaria para producir esta cantidad de hidrógeno durante las 6 horas que será cubierto la demanda, teniendo en cuenta que el electrolizador estará en funcionamiento durante 10 horas, como el electrolizador debe tener un flujo constante de líquido para su funcionamiento, ante esto se determina un sistema de recirculación con el 17 %.



$$\text{agua requerida} = 0,5046\text{ litros}$$


Según la norma NTE INEN1534, recomienda que para el dimensionamiento del tanque se debe tener en cuenta un volumen de fallas y el volumen contra incendios en caso de ser necesario. Para este caso aplica el volumen de fallas por un futuro daño en las tuberías con una duración de 2 horas, pero no se plantea el análisis para el sistema contra incendios. El volumen total y las dimensiones teóricas del tanque se puede calcular con las ecuaciones dando como resultado:

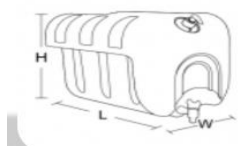
$$Caudal\ total = 0,00308\ m^3 + 0,0222\ m^3 + 0,000169\ m^3$$

$$Caudal\ total = 0,025449\ m^3$$

Teniendo un volumen de 25,449 litros de agua, el modelo sugerido para el tanque de suministro se lo muestra en la Tabla 5.8. obtenido por el catálogo de la fábrica AYMEK`S.

**Tabla 5.4.** Ficha tanque de almacenamiento [39].

Fabricante:	AYMEK`S	
Modelo:	Tanque de agua plástico	
Capacidad:	30 litros	
Material:	Plástico	
Dimensionamiento	con dispensador de jabón y llave de paso, termo sellado	


	longitud	410	L
	ancho	350	W
	altura	370	H
	peso	2.95 Kg.	

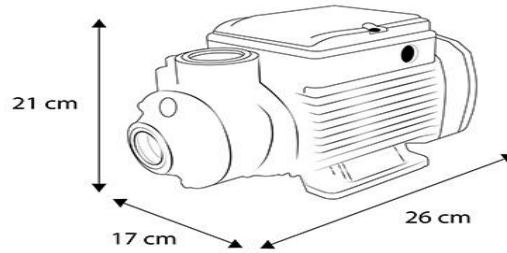
**Figura 5.5.** Dimensiones del tanque de almacenamiento [39].

### 5.2.1.3. Bomba de alimentación de recirculación.

Por medio de catálogos en el mercado de distribución de bombas de agua se ha escogido la siguiente bomba que se muestra en la Tabla 5.9. esta boba tiene con función recircular el agua que el electrolizador no usara, la boba funcionara cuando la planta de producción de hidrógeno deje de funcionar, y este recircular el agua al tanque de almacenamiento.

**Tabla 5.5.** Ficha técnica de la bomba de agua lo más principal [40]

Fabricante		
modelo:	IMPELER PERIFERICO PKM	
caudal:	25 L/min	
altura:	24m max	
medida:	1/2 HP	



**Figura 5.6.** Dimensiones de la bomba [40].

**5.2.1.4. Separador de gas**

Para escoger el tipo de separador de gas se tiene que calcular el diámetro y la longitud que tendrá el separador de gas, para el área de la sección transversal del fluido y tiempo de retención se tomará con valor  $0,075m^2$  , 600s respectivamente. Tomando las variables establecidas y mediante la ecuación 4.15 y 4.13, dio como resultado:

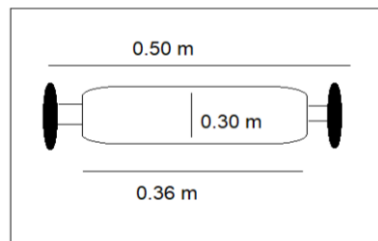
$$Diametro = \sqrt{\frac{4 * A_g}{\pi}} = 0.30 m$$

$$Longitud = \frac{V_{rc}}{A_g} = \frac{0,000045 * 600}{0.075} = 0,36 m$$

En la Tabla 5.6 menciona la ficha técnica del separador de gas del fabricante lo cual se va a utilizar de un material de Acero inoxidable.

**Tabla 5.6.** Ficha Técnica Separadora De Gas.

Fabricante	EATON	
Tipo de material	Acero inoxidable	
Tipo de separador	Conexiones de entrada y salida de tamaño reducido	
Tipo de fluido	gas, vapor o aire	
Medidas Longitud /Diámetro	0,33 m /0,36 m	



**Figura 5.7.** Dimensiones de la separadora [40].

**5.2.1.5. Secador de Gas.**

Una vez pasado por el sistema del separado de gas y determinada la temperatura y la presión de operación se puede dimensionar el secado con las Tablas (5.5) y (5.6), para el factor de corrección como se muestra en la Tabla 5.7. Una vez determinado los parámetros del secador y se puede dimensionar el secador de gas como muestra en la Tabla 5.13.

**Tabla 5.7.** Parámetro de resultados de secador de gas.

Parámetro	
Factores de corrección de capacidad de operación	1,54 F
Factores de corrección de capacidad para la temperatura ambiente	1,09 F

Para determinar la capacidad del secador se multiplica el factor de corrección de operación y el factor de corrección para la temperatura del ambiente. Teniendo una presión de 200 psig de la presión de operación denominado por electrolizador y una temperatura de operación de 80°C se puede calcular la capacidad del secador como se lo muestra:

$$factor = 1,54 * 1,09 = 1,6786$$

$$capacidad = \frac{200}{1,6786} = 119,14$$

Una vez determinado la capacidad necesaria se procede a escoger un modelo apto para el sistema mediante la comparación de dos tipos de secadores encontrado por catálogos, en este caso se compara aspectos importantes como el caudal, la potencias y el peso de la maquina como se muestra en la Tabla 5.14, una vez comparado los modelos disponibles, se escogió el modelo Boge por su mejor eficiencia.

**Tabla 5.8.** Tipos de secadores de gas

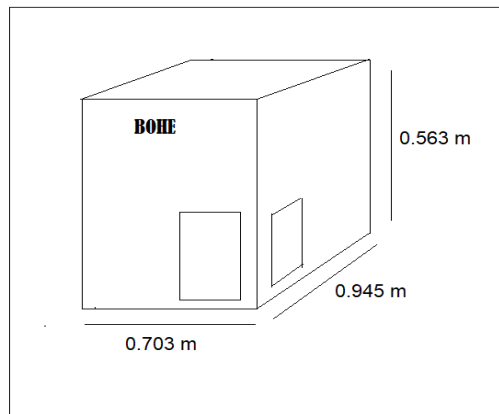
Kaser serie TC 36	Boge serie DC 45
Caudal= 3,90 m <sup>3</sup> /min	Caudal= 4,5 m <sup>3</sup> /min
Kw=0,89	Kw= 0,90
Peso 170 kg	Peso 83 kg

El secador de la marca BOGE tiene un intercambiador de calor de aluminio con una eficiencia alta y reduce al mínimo las perdidas dentro del sistema de refrigera miento. El consumo de electrico es mínimo por lo que la corriente se mantiene en niveles muy bajos. Unas de sus ventajas son: máxima calidad BOGE, control digital, costos de explotación mínimos, mantenimiento especialmente sencillo.



**Tabla 5.9.** Ficha técnica modelo para el secador de gas.

Fabricante	BOGE	
Modelo	DC 45	
Capacidad volumétrica:	159 SCFM	
Presión de operación máxima:	0,33 BAR	
Voltaje:	115V/1 Fase/60Hz	
Pot. eléct. absorbida al 100% del volumen	0,55 Kw	
Pot. Instalada	0,90 Kw	
Material sistema separador	Zinc	
Dimensionne : (An x P x Al) mm	703 x 945 x 562	
Peso:	83 kg	



**Figura 5.8.** Dimensiones del Secador [40].

#### 5.2.1.6. Tanque de almacenamiento.

Mediante la ecuación 4.18. se puede calcular el volumen que tendrá el tanque de almacenamiento de hidrógeno, que acumulara el gas durante las horas de trabajo, posterior a esto en la tabla 5.14 se muestra el modelo de tanque que se escogió:

$$v = \frac{0,0637 \text{ mol} * 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}}}{68.9476 \text{ kPa}} * 353,17 \text{ K} = 5,07 \text{ m}^3$$


Una vez determinado la capacidad necesaria de almacenamiento se procede a escoger un modelo apto para el sistema, mediante la comparación de dos tipos de tanque de baja presión encontrado por catálogos, para lo cual se compara aspectos importantes como el volumen, el dimensionamiento y el peso de la maquina como se muestra en la tabla 5.10. una vez comparado los modelos disponibles, se escogió el modelo Boge por su mejor eficiencia.

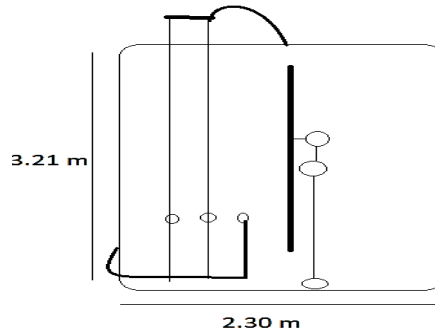
**Tabla 5.10.** Tipos de tanque de almacenamiento de baja presión.

CNCD	MICROBULK
Volumen: 10 m <sup>3</sup>	Volumen: 7,5 m <sup>3</sup>
D: 2100*7170	D: 2350*2350*3210
Peso: 69.86 kg	Peso: 43,26 kg

El tanque de la fábrica MICROBULK es un tipo de almacenamiento de baja presión, el tanque a granel es un recipiente que se utiliza llenar y almacenar de productor químicos y gas industrial su estructura esta echo de acero reforzador, contiene un control de presión y temperatura manual.

**Tabla 5.11.** Ficha técnica del tanque de almacenamiento.

Fabricante	Microbulk	
Modelo	Tanque de almacenamiento	
Volumen	7,5 m <sup>3</sup>	
Precian laboral (Mpa)	1,6	
Medida de trabajo	LO2, LN2, ARr, GNL etc	
Dimencionamiento (mm)	2350*2350*3210	
Peso neto (kg)	43,26	



**Figura 5.9.** Dimensiones del Tanque de Almacenamiento [40].

### 5.2.1.7. Motor de hidrógeno.

Cabe mencionar que tiene el mismo método de realización del Electrolizador, pero a la inversa, la eficiencia del motor al transformar el hidrógeno en energía se tiene un rendimiento alrededor de un 80% esto implica una pérdida del 17%. Para el cálculo de los parámetros se utilizó las ecuaciones (4.20), (4.22), (4.23), y por último la ecuación del voltaje producido (4.25), para el cálculo se debe tomar en cuenta las horas que va trabajar el motor de hidrógeno, trabajando 6 horas.

$$P_{pemfc} = 285.73 \frac{kJ}{mol} * 249,4 \text{ g} \frac{mol}{h} = 71261,062 \text{ kJ} - 48,68 \text{ kJ} - 14252,212\text{kJ}$$

$$P_{pemfc} = 56227,761 \text{ kJ} = \frac{15,6188}{6 \text{ horas}} = 2,0603 \text{ kW}$$


Una vez determinado la potencia necesaria de para el generador, se procede a escoger un modelo apto para el sistema, mediante la comparación de dos tipos generadores encontrado por catálogos, para lo cual se compara aspectos importantes como el volumen, el dimensionamiento y el peso de la maquina como se muestra en la tabla 5.12. una vez comparado los modelos disponibles, se escogió el modelo Boge por su mejor eficiencia.

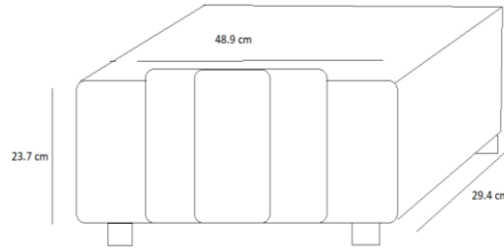
**Tabla 5.12.** Tipos de motores de hidrogeno

G-HFCS	MODELO PEM 400
Potencia:3 kW	Potencia:1-6kw
Peso:12 kg	Peso:22.7
Voltaje:40-70v	Voltaje:42-83
Amperio:0-150	Amperio:0-150

Unas de sus ventajas son Congele el almacenamiento y empiece a funcionar, larga vida útil, refrigeración líquida (fácil usabilidad del calor de reacción), alta fiabilidad, alta eficiencia, supervisión y diagnóstico en vivo, ideal para múltiples aplicaciones, no se necesita humidificación externa módulo alojado no se necesita ventilación de aire forzado.

**Tabla 5.13.** Ficha técnica del motor de hidrógeno (pila de combustible) [41]

Modelo	Módulo de pila de pilas de combustible PM 400 (200)	
Peso	15.5 kg	
Dimensiones	114,1*43,6*27.9 cm	
Conforme con	Ce	
Temperatura ambiente máxima (en °c)	45	
Tipo de refrigeración	enfriado por líquido	
Voltaje maximo	110	
Combustible	Hidrógeno	
Grado de calidad del combustible	iso 14687-2, se j 2719	
Volumen de geometría (en l)	40.6	
protección de ingreso	ip65	
Humedad ambiente máxima	95	
Corriente máxima (en a)	0.150	
Máximo de combustible (kg/h)	1.2-6.3	
Altitud máxima de funcionamiento	2000	
Potencia máxima (en kW)	56-110	
Temperatura ambiente (en °c)	-35	



**Figura 5.10.** Flujo para determinar la potencia de los equipos requeridos.

Mediante la ficha técnica del electrolizador escogido se puede calcular la corriente, conociendo la cantidad de mono celdas que tiene, mediante la ecuación 4.17.

$$I = \frac{0,07936 \frac{mol}{s}}{216} * 2 * 96485.33 \frac{C}{mol} = 68,2187 A$$

## 5.2.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

### 5.2.2.1. Generación de sistema.

Una vez determinado la demanda de la plata de producción y almacenamiento de hidrógeno, se procede a dimensionar el sistema fotovoltaico, en la Tabla 5.17. se muestra la lista de potencias requeridas para generar el sistema fotovoltaico, ya obtenido las demandas totales del sistema a continuación. En la Tabla 5.18. se muestra la irradiación del lugar por lo cual se ha tomado desde la página de Sistema de Geográfica Europea.

**Tabla 5.14.** Tabla de demandas para el sistema fotovoltaico.

<b>DEMANDAS DE EQUIPOS</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Lista de Equipos</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Horas de trabajo</b>	<b>Tensión, V</b>	<b>Consumo (Wh)</b>
1	Electrolizador	1518,23	10	24	15182,27
1	equipos	100	10	120	100
1	Secador	720	10	120	7200
1	Bomba	260,57	1	120	260,57
					298778,93

En la Tabla 5.18. se muestra la irradiación mensual que tiene el lugar del caso de estudio, se puede apreciar que la irradiación más alta está en el mes de diciembre y la radiación más baja es el mes de junio, para el caso de estudio se va a trabajar con la irradiación promedio que se pudo calcular mediante esta Tabla 5.18 dando como resultado de 4,43 Kwh/m<sup>2</sup>.

**5.2.3. Determinación La Irradiación De La Ubicación.**

$$HSP = \frac{\text{Irradiación solar}}{1000w/m^2} \quad (4.26)$$

**Tabla 5.15.** Año De Irradiación Promedio Diaria [42].

Año Irradiación diaria Promedio (Kwh/m <sup>2</sup> )	
Meses	Irradiación Horizontal
Enero	4,11
Febrero	4,08
Marzo	4,09
Abril	4,07
Mayo	4,04
Junio	4,06
Julio	4,09
Agosto	4,07
Septiembre	4,09
Octubre	4,08
Noviembre	4,09
Diciembre	4,03

**Factor rendimiento energético.**

$kv$  = Las pérdidas por temperatura = 0,05.

$kb$  = Representa a la eficiencia energética del acumulador = 0,05.

$ka$  = Es la eficiencia energética que tienen las baterías = 0,005.

$Pd$ : Es la profundidad de descarga diaria de las baterías = 80%.

$n$  = Son los días de autonomía del sistema.

$$fr = (1 - kv - kb) * \left(1 - \frac{n * ka}{pd}\right) \quad (4.27)$$

$$fr = (1 - 0,05 - 0,05) * \left(1 - \frac{1 * 0,005}{0,80}\right)$$

$$fr = 0,89$$

• **Consumo Energético Diario.**

$$E_d = E * f_c \quad (4.28)$$

$$E_d = 2642,84 \frac{Wh}{dia} * 1,20$$

$$E_d = 22642,84 \frac{Wh}{dia}$$

- **Consumo Energético Real.**

$$E_r = \frac{E_d}{fr} \quad (4.29)$$

$$E_r = \frac{22642,84}{0,89}$$

$$E_r = 30529,67 \frac{Wh}{dia}$$

- **Amperios hora requeridos para el sistema.**

$$I_b = \frac{E_r * n}{V_{sistema} * Ef_{inv}} \quad (4.30)$$

$$I_b = \frac{2324,22 * 5}{48 * 0,93}$$

$$I_b = 45,03Ah$$

### Corriente pico del sistema.

La corriente Pico del Sistema es la relación entre los amperios hora de la batería y las horas solares pico en el peor mes del año, este corriente pico del sistema, asimismo da a entender la idea de cuánto va a circular por el sistema la corriente y con el valor dada se pueda realizar la determinación del tamaño del conductor y las protecciones. Se toma en cuenta el HSP mínimas del mes para poder calcular la corriente pico del sistema y esto se verá en la siguiente ecuación (4.31).

$$I_{ps} = \frac{I_b}{HSP_{minimas}} \quad (4.31)$$

$$I_{ps} = \frac{45,03}{4,07} = 9,58 a$$

**Tabla 5.16.** Resultados de las energías totales del SF.

<b>TABLA DE RESULTADOS</b>	
<b>Consumo Nominal de Potencia [W]:</b>	2498,79 [W]
<b>Consumo de energía por día [Wh/día]:</b>	22642,84 [Wh/día]
<b>FACTOR DE RENDIMIENDO ENERGETICO [fr]</b>	0,89
<b>CONSUMO ENERGETICO DIARIO [Ed]:</b>	27171,41 [Wh/día]
<b>CONSUMO ENERGETICO REAL [Er]:</b>	30529,67 [Wh/día]

#### 5.2.4. Selección del tipo de panel solar.

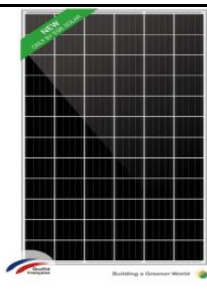
Para la selección del tipo de paneles solares se debe tener en cuenta el tipo de panel adecuado, asimismo existen en los mercados paneles solares de distinta marca ya sea el autor que prefiera, los más habituales de tipos de paneles fotovoltaicos son los monocristalinos y policristalinos. Son muy pocas las diferencias técnicas como económicas de los paneles ya que hoy en día el avance es muy progresivo en la tecnología en los paneles fotovoltaicos.

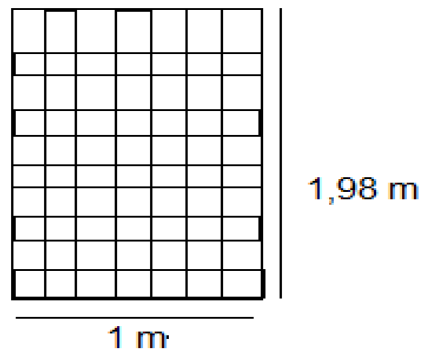
#### Cálculo de número de paneles.

Para el cálculo del número de paneles se debe tener en cuenta el número de cargas conectadas al sistema transformado en energía lo cual se revisó en el apartado de diseño de generación de la ecuación (4.29), la ecuación (4.32) menciona la cantidad necesaria de paneles fotovoltaicos como factor de variable constante la potencia del panel y la irradiación promedio del lugar o en algunos casos recomienda algunos autores utilizar la irradiación mínima del año.

**Tabla 5.17.** Ficha Técnica De Paneles Fotovoltaicos [43].

<b>DATOS DE CATALOGOS DE PANELES SOLARES</b>	
<b>Marca</b>	W. pico
Panel Solar 400Wp /24VDC Mono cristalino	400
W. pico	39,92
<b>V circuito abierto</b>	10,02
<b>Vn [V]</b>	48,6
<b>Icc [A]</b>	10,4





**Figura 5.11.** Panel solar 400Wp /24VDC Mono cristalino [43].

$$\text{Número De Paneles} = \frac{\text{Energía}}{HSP * W_p} \quad (4.32)$$

$$\text{Número De Paneles} = \frac{22642,84}{4,03 * 400}$$

$$\text{Número De Paneles} = 20 \text{ Paneles}$$

### **Cálculo de la potencia máxima de generación.**

Es importante tener en cuenta la potencia nominal máxima de cada panel fotovoltaico y la cantidad dada de paneles solares, el cálculo de la potencia máxima de generación por lo cual se debe revisar en la ecuación (4.33) siguiente.

$$P_{Gmax} = N_{pan} * P_{max} \quad (4.33)$$

Donde:

$P_{Gmax}$  =Es la potencia máxima de generación en [Wp].

$N_{pan}$  =Es el número de paneles solares.

$P_{max}$  =Es la potencia máxima nominal del panel fotovoltaico [W].

$$P_{Gmax} = 20 * 400 \text{ Wp}$$

$$P_{Gmax} = 8000 \text{ Wp}$$

### **Distribución de los paneles solares.**

Para la distribución de los paneles serán conectados en dos formas puede ser en serie o en paralelo, se debe tomar los valores nominales de fábrica de los paneles.



**Conexión de paneles solares en serie.**

Para conocer la cantidad de paneles que serán conectados en serie se verifica con la siguiente ecuación tomando en consideración el tipo de sistema de voltaje y el voltaje del panel.

$$P_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{panel}} \tag{4.34}$$

En donde:

$P_{serie}$  = Es el número de módulos solares que serán conectados en serie

$V_{panel}$  = Es la tensión nominal del módulo solar seleccionado.

$$P_{serie} = \frac{48V}{12V}$$

$$P_{serie} = 4 \text{ Paneles}$$

**Conexión De Paneles Solares En Paralelo.**

La cantidad que serán conectados en paralelo los paneles agrupados y se realiza con la siguiente ecuación (4.35).

$$P_{paralelo} = \frac{T_{paneles}}{P_{serie}} \tag{4.35}$$

**Donde:**

$P_{paralelo}$  = Es el número de módulos conectados en paralelo.

$T_{paneles}$  = Es la totalidad de módulos conectados

$P_{serie}$  = Es la conexión de paneles fotovoltaicos en serie.

$$P_{paralelo} = \frac{20}{4}$$

$$P_{paralelo} = 5 \text{ cadenas}$$

Al despejar la anterior ecuación (4.35) el total de paneles debe dar la cantidad exacta de paneles fotovoltaicos como se muestra en la siguiente ecuación (4.36).

$$T_{paneles} = P_{paralelo} * P_{serie} \tag{4.36}$$

$$T_{paneles} = 5 * 4$$

$$T_{paneles} = 20 \text{ paneles}$$

**Dimensionamiento del espacio físico para los paneles.**

Conociendo el número de paneles, se puede aproximar las dimensiones que puede ocupar los paneles hay que tener en cuenta la ficha técnica o catálogo de los paneles para saber que dimensiones tiene cada panel solar.

$$\text{ancho que ocupa} = \text{ancho del panel} * P_{\text{serie}} \tag{4.37}$$

$$\text{ancho que ocupa} = 1,002 * 4$$

$$\text{ancho que ocupa} = 4,008 \text{ mm}$$

$$\text{largo que ocupa} = \text{largo del panel} * P_{\text{paralelo}} \tag{4.38}$$

$$\text{largo que ocupa} = 1980 * 6$$

$$\text{largo que ocupa} = 9405 \text{ mm}$$

Recordar que el espacio de la instalación es considerado según el área disponible por lo cual según el criterio puede dividir en grupos obteniendo una distribución más equitativa en el lugar establecido.

**Tabla 5.18. Resultados de las energías totales del SF.**

Tabla De Resultados		
Número de paneles:	19	Módulos
Potencia máxima de generación [Pgmax]:	7600	Wp
Paneles solares en serie:	4	Paneles
Paneles solares en paralelo:	5	Cadenas
Ancho que ocupa:	4008	mm
Largo que ocupa:	9405	mm

Para terminar, para la selección de paneles fotovoltaicos se escoge este modelo por la eficiencia que tiene el 19,8% de cada panel solar, y por rápida adquisición ya que viene desde la empresa Provento, hay otra clase de panel igual con la misma característica de la marca “” que aparte de no encontrarse en el país

**Diseño de las baterías**

Para determinar la capacidad de baterías o el banco de baterías se debe tomar en cuenta la cantidad de amperios hora así como las horas de autonomía en condiciones nubladas que es aproximado de 24 horas para que los paneles sigan recibiendo radiaciones, el diseño de baterías el principal funcionamiento es abastecer la carga cuando el sistema de generación no alcance a

rendir, de esta manera la capacidad nominal de los banco de baterías es la multiplicación de la carga diaria total y el número de días libres y se obtiene mediante la ecuación (4.39).

**Tabla 5.19. Ficha Técnica De La Batería Solar de GEL[36].**

<b>BANCO DE BATERIAS:</b>		
<b>MARCA:</b>	<b>Capacidad De Carga (Ah)</b>	<b>Tensión del Sistema Nominal (V)</b>
Batería Solar de GEL vida útil prolongada 150Ah/12VDC	150	12

Para la determinación de los bancos de baterías se debe tomar en cuenta el amperaje hora que viene de los catálogos de las baterías, así como las horas de autonomía en condiciones totalmente nubladas que puede ser 24 horas para que las baterías puedan abastecer la carga del sistema del hidrógeno. Por lo cual está en la siguiente ecuación (4.39). Para obtener el diseño de repartición de las baterías en serie se plantea en la siguiente ecuación (4.40). Para la determinación de banco de baterías en paralelo se calcula con la siguiente ecuación (4.41).

$$I_{bn} = I_b * n \quad (4.39)$$

En donde:

$I_{bn}$  =es la capacidad nominal del banco de baterías [Ah].

$I_b$  = son los amperios hora requeridos en el banco de baterías [Ah].

$n$  = número de días.

$$I_{bn} = 43,05 * 5$$

$$I_{bn} = 215,25 \text{ Ah}$$

### **Distribución del banco de baterías en serie.**

$$B_{serie} = \frac{V_{sistema}}{Vn} \quad (4.40)$$

En donde:

$B_{serie}$  =es el número de baterías al conectarse.

$Vn$  =es el voltaje nominal de la batería dada por el fabricante [v].

$$B_{serie} = \frac{48}{12}$$

$$B_{serie} = 4 \text{ baterias}$$

Para la determinación de banco de baterías en paralelo se calcula con la siguiente ecuación (4.41).

$$B_{paralelo} = \frac{Ibn}{\frac{Pro.Desc}{In}} \quad (4.41)$$

En donde:

**$B_{paralelo}$**  = baterías

$Pro.Desc$  = es la profundidad de descarga de la batería

$In$  = es la capacidad nominal del sistema de la batería dada por el fabricante [Ah].

$$B_{paralelo} = \frac{45,05}{\frac{0,60}{150}}$$

$$B_{paralelo} = 1$$

Ya conociendo el número de baterías en serie y las de paralelo se puede conocer el total de las baterías del sistema, en la siguiente ecuación (4.42) se muestra el cálculo.

$$T_{baterias} = B_{paralelo} * B_{serie} \quad (4.42)$$


$$T_{baterias} = 1 * 4$$

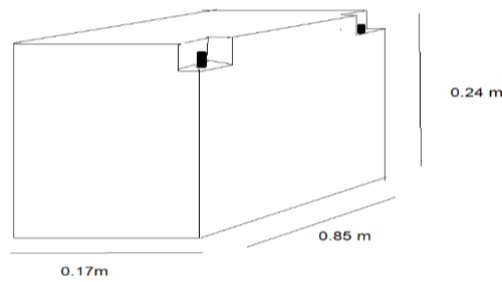
$$T_{baterias} = 4 \text{ baterias}$$

Para la distribución del banco de baterías se debe revisar la Tabla 5.23 anterior ya que la marca de la batería refleja la capacidad de carga que puede trabajar para el sistema. Asimismo, se toma en cuenta dos aspectos como es baterías en serie que se encuentra la ecuación (4.40) lo cual da cuantas baterías se debe poner en serie dando como resultado de 4 baterías para el diseño y el otro aspecto el banco en paralelo que mediante la ecuación (4.41) da como resultado que se debe instalar 11 grupos en sentido paralelo.

**Tabla 5.20. Resultados del banco de baterías.**

Tabla de resultados	
Capacidad nominal [Ibn]:	45,03
baterías en Serie:	1
Banco de baterías en paralelo:	4





**Figura 5.12.** Dimensionamiento de la batería

**Dimensionamiento del Inversor.**

Los paneles fotovoltaicos siempre deben operar en condiciones de medición estándar, raramente se encuentran en la operación real; como resultado, los inversores en la mayoría de los casos, funcionará sobredimensionado para dimensionar el inversor se debe tomar en cuenta la ecuación (4.49).

Para los paneles siempre tienen que operar en condiciones de medición estándar es rara las ocasiones que se encuentre en la operación real, los inversores en la mayoría de los casos, están funcionando. Para su dimensión se debe tomar la sumatoria de todas las potencias nominales de los equipos y trabaja con el coeficiente normalmente esta entre 0,5 a 0,7 lo cual se muestra en la siguiente ecuación (4.43).

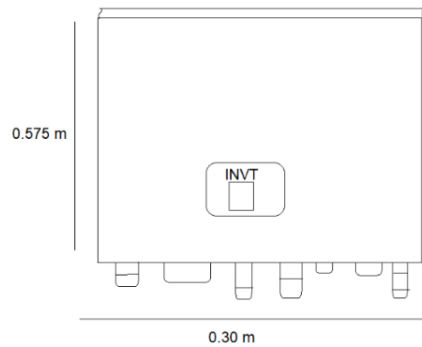
$$P_{inversor} = \frac{\sum P_{nominal}}{0,7} \tag{4.43}$$

$$P_{inversor} = \frac{2498,07}{0,7}$$

$$P_{inversor} = 3568,67 \text{ w}$$

**Tabla 5.21.** Resultados del inversor.

Tabla De Resultados	
Potencia del Inversor:	3568,67 W
	



**Figura 5.13.** dimensiones del inversor

### Corriente de consumo.

En este apartado tiene como el fin de calcular las corrientes de carga del inversor y del sistema fotovoltaico. En la Tabla 5.25 refleja los resultados de las corrientes de consumo, la corriente del sistema viene dado por la relación que hay de la potencia general del sistema de la demanda con el voltaje del sistema que se va a utilizar para la generación lo cual esta propuesto en la ecuación (4.50) que se encuentra en la metodología parte de cálculo de la corriente de consumo.

### Corriente de carga del sistema.

$$I_{sistema} = \frac{P_{sistema}}{V_{diseño}} \quad (4.48)$$

$$I_{sistema} = \frac{2498,07}{120}$$

$$I_{sistema} = 20,82 \text{ A}$$

### Corriente de carga del inversor.

En este apartado tiene como el fin de calcular las corrientes de carga del inversor y del sistema fotovoltaico. En la Tabla 5.25 refleja los resultados de las corrientes de consumo, la corriente del sistema viene dado por la relación que hay de la potencia general del sistema de la demanda con el voltaje del sistema que se va a utilizar para la generación lo cual esta propuesto en la ecuación (4.50) que se encuentra en la metodología parte de cálculo de la corriente de consumo.

$$I = \frac{P_{inversor}}{V_{diseño}} \quad (4.49)$$

$$I = \frac{3568,67}{120} = 29,7389 \text{ A}$$

**Tabla 5.22.** Resultados de la corriente de consumo.

<b>Tabla De Resultados</b>		
<b>I sistema:</b>	20,82 A	A
<b>I carga inversor:</b>	29,7389	A

Así pues, para dimensionar la corriente de carga del inversor se tomará la potencia de la Tabla 5.25. con respecto al voltaje del sistema del diseño, dando como resultado la corriente de consumo, este cálculo se toma desde la metodología dimensionamiento del cálculo de corriente de consumo ecuación (4.51), y finalmente la corriente del regulador en estos casos ya que es diseño para una generación no se toma en cuenta la corriente de generación por que el regulador es el controlador de la carga lo cual no afecta al diseño fotovoltaico.

### **Sección del conductor y las protecciones.**

Para las longitudes, se ha tratado de buscar lo más cerca posible por el espacio físico, los elementos de la central solar fotovoltaica estén lo más cerca y así el conductor sea corto para que evite perdidas de caída de voltaje, otro de los factores es que la corriente no deba sufrir grandes variaciones así mismo este corriente dimensionado tiene un grado de mucha responsabilidad para que no reduzca la tensión.

**Tabla 5.23. Resultado de longitud de los paneles fotovoltaicos.**

<b>Conductores Entre Paneles Solares Fotovoltaicos.</b>	
Conductores entre paneles:	4,76 M
Distancia entre el panel y el electrolizador	
Distancia:	5 M
Distancia entre el panel y el electrolizador	
Distancia:	4 M
Distancia entre el inversor - br principal	
Distancia:	4 M
Distancia entre los paneles y el banco de baterías	
Distancia:	4 M
Distancia entre los br principal- distribución	
Distancia:	4 M

ya que en las centrales fotovoltaicas trabajan con voltajes menores pero corrientes muy grandes. En la Tabla 5.26. se propone las longitudes lo más reales que pueda dimensionar el diseño fotovoltaico. Como esta instalación se va a realizar encima de la vivienda en donde se presenta en algunos ratos alta temperatura de calor y lluvia, el cable debe ser el adecuado para la

instalación y cumplir con las normas vigentes específicas de climáticas y técnicas requeridas para el sistema.

Mediante la ecuación (4.53) de la metodología de dimensionamiento de los conductores y protecciones se evalúa el voltaje teórico requerido ya que varía el porcentaje según el circuito que sea requerido esto puede ser en corriente alterna o continua. Este dimensionamiento fotovoltaico cuenta con circuitos en corriente continua lo cual debe variar entre el 2,83% que es la tensión máxima de admisibilidad para circuitos de corriente continua,

Cabe recalcar para sacar la longitud con reserva se debe considerar un porcentaje del 25% para que pueda soportar el cableado eléctrico la corriente que circula por los conductores en el sistema este cálculo obtiene que con cuanta corriente debe estar dimensionado los disyuntores para el diseño fotovoltaico lo cual se podrá ver en el apartado de la Tabla 5.27. que propone las dimensiones de cada circuito del sistema fotovoltaico.

En la Tabla 5.28 se obtiene los resultados de la sección de los conductores propuestos en el diseño, este resultado influye variables como es la corriente máxima de un puesto a otro, y la caída de voltaje de sistema de un punto a otro, este cálculo tiene como finalidad que conductor toma como referencia que conductor se va a utilizar para el dimensionamiento, este cálculo se utilizó desde la ecuación (4.54) de la metodología de conductores y protecciones del sistema que es una ecuación monofásica para dimensionar un conductor eléctrico

**Tabla 5.23.** Longitud y la corriente para dimensionar el sistema fotovoltaico.

Tabla De Resultados			
	Longitud Del Cable	Longitud Con Reserva	Corriente
Entre Paneles	4,76	5,95	31,2
Paneles- Electrolizador	5	6,25	31,2
Inversor - Br Principal	4	5	20,82
Paneles-Baterías	4	5	31,2
Br Principal- Distribución	4	5	20,82

**Tabla 5.24.** Resultados de la sección de conductor para el diseño

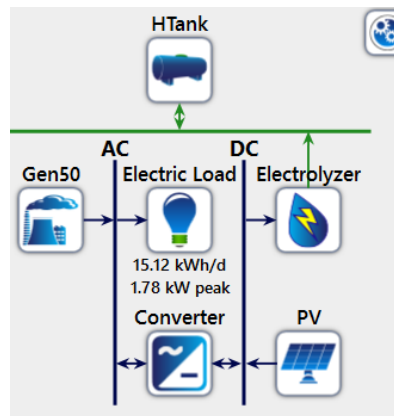
TABLA DE RESULTADOS/entre paneles		
I max:	62,28	A
AV=	2,083	%
S=	125,3	mm <sup>2</sup>



TABLA DE RESULTADOS/paneles- electrolizador		
I <sub>max</sub> :	62,28	A
AV=	2,083	%
S=	13,19	mm <sup>2</sup>
TABLA DE RESULTADOS /inversor - br principal		
I <sub>max</sub> :	313,4	A
AV=	2,083	%
S=	53,12	mm <sup>2</sup>
TABLA DE RESULTADOS/paneles-baterías		
I <sub>max</sub> :	62,28	A
AV=	2,083	%
S=	10,56	mm <sup>2</sup>
TABLA DE RESULTADOS/ br principal- distribución		
I <sub>max</sub> :	313,4	A
AV=	10,417	%
S=	10,62	mm <sup>2</sup>

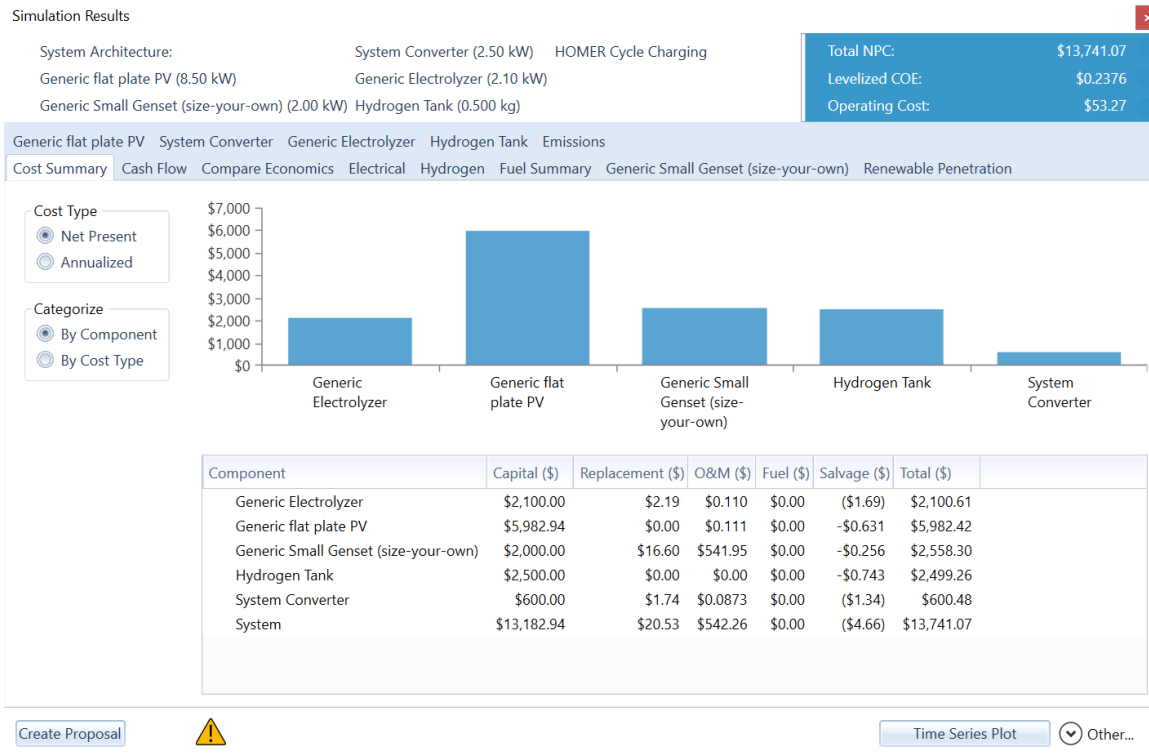
### 5.3. SIMULACIÓN DE CASOS MEDIANTE UN SOFTWARE

La simulación está basado a la metodología propuesta, la plata de producción de hidrógeno estará en funcionamiento de la demanda de 2.52 kW, y será capaz de alimentar a la panadería en las horas establecidas anteriormente. En la figura 5.11. se muestra el diagrama de la planta de producción y almacenamiento de hidrógeno alimentado por el sistema fotovoltaico.



**Figura 5.13.** Sistema propuesto en Homer Pro.

En la figura 5.12. se observa la inversión total de \$ 13.74107 dólares americanos que tendrá el sistema al transcurso de los 17 años, a esto cada año tiene un costo de operación de \$ 53.27 dolares americanos, en los Anexo J, K, L, M, N, Ñ, O, P, se muestra los resultados con más claridad de cada equipo y sus costos de operación unitarias.



**Figura 5.14.** presupuesto de Homer pro

Mediante el resultado obtenido con el software Homer y los resultados del caso de estudio teóricos, se procede a comparar los resultados relevantes entre los dos procesos

### Comparación de resultados

Se procede a comparar los datos del primer caso con los resultados que arroja el software Homer pro, para comparar los resultados relevantes como el capital inicial y el costo de operación, este para tener resultado confiable, en la Tabla 5.23 se muestra la comparación de los resultados y su margen de error.

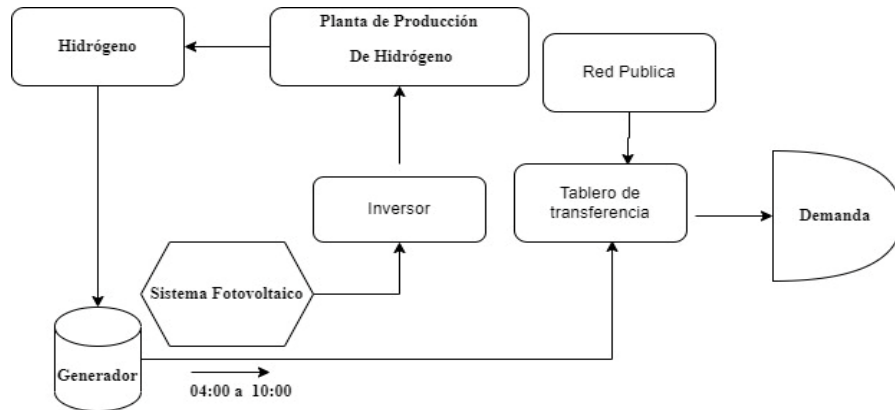
**Tabla 5.25. Comparación de resultados.**

	Calculado	Homer Pro	error
Capital inicial	83,757.09	88,417	5%
Costo de operación	1,491	1,613	7%

## 6. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).

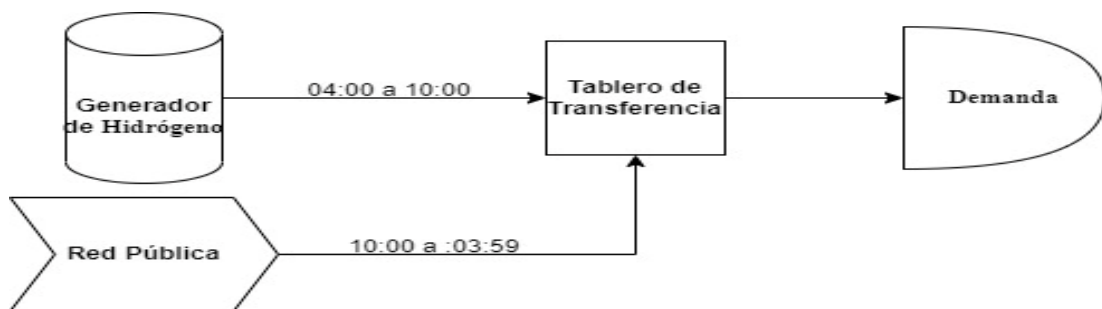
### 6.1. IMPACTO TÉCNICO.

En el impacto técnico tomaremos como referencia la siguiente Figura 6.1 para saber los limitantes y el proceso que debe tener el sistema de producción y almacenamiento de hidrógeno durante el periodo de la noche, además como trabajara con la red pública.



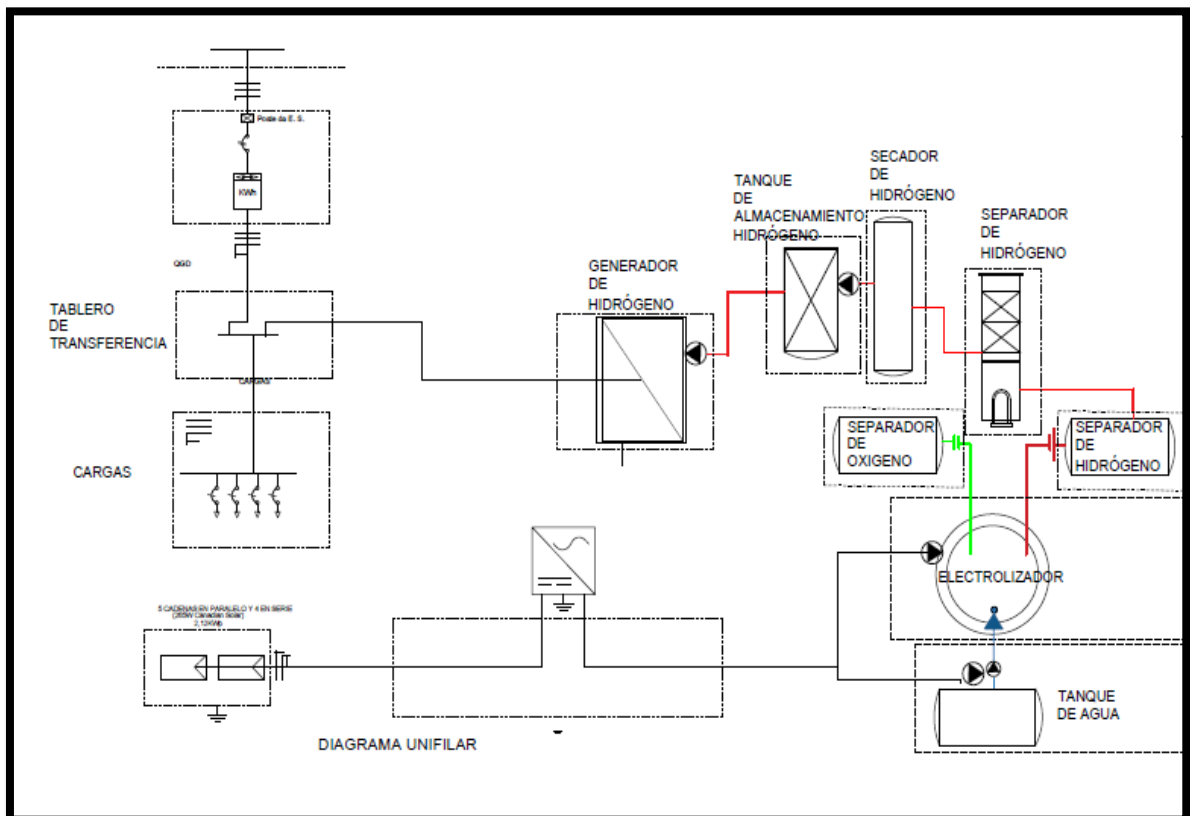
**Figura 6.1.** Proceso Técnico a realizar producción y almacenamiento y la red eléctrica.

El sistema Fotovoltaico alimentaría al inversor para que pueda administrar a la planta de producción en el lazo del día, el proceso de generación encendería desde las 03:00 a 08:00 para suministrar y la red Pública o la Empresa eléctrica se detenga, esto se hace mediante un tablero de transferencia según el mecanismo o maniobra del técnico lo cual menciona en la Figura 6.2. lo cual es el proceso necesario para ingrese a trabajar el sistema de generación utilizando el proceso de la metodología que menciona la forma más sencilla de maniobrar dos generaciones de energía tanto sea monofásico como trifásico de la Figura 5.20



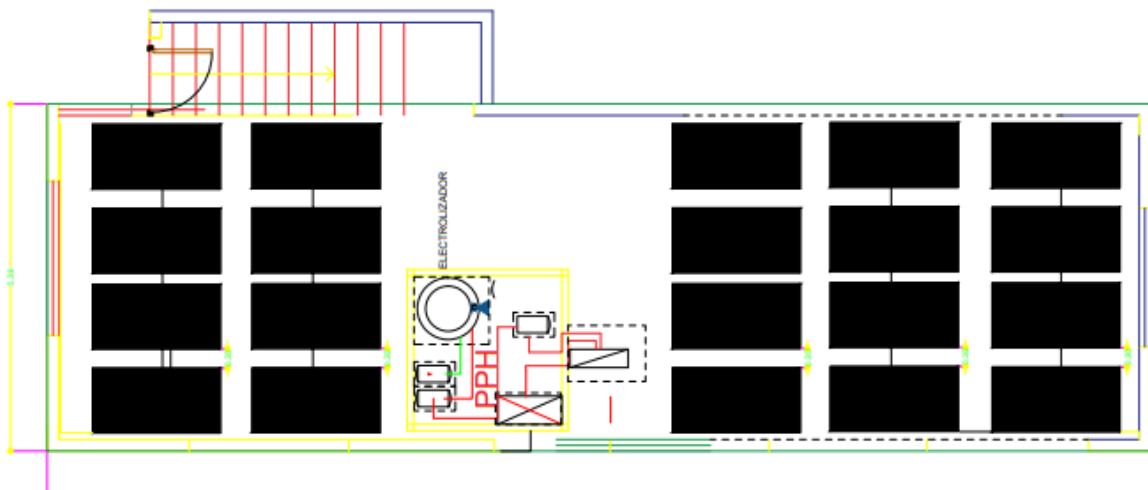
**Figura 6.2.** Proceso de generación al tablero de transferencia para la demanda.

En la siguiente figura 6.3. se muestra en forma el diseño de funcionamiento del sistema de producción lo cual se podrá trabajar en los casos de estudios técnicos la operación de la planta, el inversor es el elemento principal para poder suministrar la energía eléctrica para la planta ya que el electrolizador mantiene una demanda eléctrica continua y la única que trabajaría con corriente alterna en este caso sería la bomba eléctrica, también se menciona el banco de baterías como se explica en la metodología la única función es de alimentar el proceso de inicio del sistema de la planta. Para mejor observación se refleja en el Anexo E.



**Figura 6.3.** Diseño del funcionamiento del Sistema de Producción de Hidrógeno.

Para el caso uno, el local cuenta con un espacio limitante en la parte del alta del edificio por lo cual se toma como referencia que el sistema fotovoltaico y la planta de hidrógeno ingresará la parte alta de la panadería, en la figura 6.4. siguiente se podrá ver el espacio de los paneles fotovoltaicos puestos en la parte de arriba, en la figura se podrá notar que el espacio a utilizar es de  $85,4 m^2$  que será repartido para los paneles y el PPH. Para mejor observación se refleja en el anexo F.



**Figura 6.4.** Ubicación de los paneles para el caso uno.

## 6.2. IMPACTO ECONOMICO.

### 6.2.1. Inversión inicial.

La implementación del sistema de esta magnitud en el local comercial, posee inversión inicial por los equipos, construcción y puesta en marcha, la estimación de inversión se lo muestran en la Tabla 6.1. y Tabla 6.2. la estimación en los precios se los reviso en catálogos, modelos de fábricas, páginas web.

**Tabla 6.1. Egresos del Proyecto del Diseño.**

<b>INVERSION DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y PRODUCCION.</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
ELECTROLIZADOR	1	\$1.000,00	\$1.000,00
SECADOR	1	\$900,00	\$900,00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1	\$148,61	\$148,61
EQUIPOS DEL ELECTROLIZADOR	3	\$450,00	\$1.350,00
BOMBA DE AGUA DE 1/2 HP	1	\$200,00	\$200,00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1	\$150,00	\$150,00
PURIFICADOR	1	\$1.000,00	\$1.000,00
CISTERNA	2	\$150,00	\$300,00
MANGUERA PARA LA BOMBA DE AGUA	30	\$0,80	\$24,00
SEPARADOR DE GAS	2	\$60,00	\$120,00
BORNERAS PARA LA BOMBA	10	\$0,40	\$4,00
		<b>SUBTOTAL</b>	\$5.196,61
		<b>IVA 12 %</b>	\$623,59
		<b>TOTAL</b>	<b>\$5.820,20</b>

Esta inversión inicial cuenta con los principales equipos que tiene el diseño de producción y almacenamiento y los costos para desarrollarse, también en la Tabla 6.3. mencionaremos el costo de diseño para alimentar energía al electrolizador para que transforme el agua en hidrógeno.

**Tabla 6.2. Egresos para un Sistema Fotovoltaico.**

<b>INVERSION PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
PANELES FOTOVOLTAICOS	20	\$180,00	\$3.420,00
TORNILLOS	32	\$0,07	\$2,24
MANGUERAS ANILLADAS ½	12	\$0,91	\$10,92
ABRAZADERAS ¾	25	\$0,60	\$15,00
BATERIAS	4	\$200,00	\$800,00
INVERSOR DEL SISTEMA TIPO:	1	\$728,00	\$728,00
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO 6 AWG	20	\$5,95	\$119,00
TABLEROS PARA LAS DIMENSIONES.	3	\$120,00	\$360,00
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO 3/0 AWG	15	\$7,45	\$111,75
CONECTORES DE COBRE TIPO CUÑA 2 A 3/0 AWG	5	\$7,50	\$37,50
BORNERAS 2/0 A 3/0 AWG	10	\$1,35	\$13,50
CONECTOR PARALELO DE COBRE 3 PERNOS	2	\$22,75	\$45,50
		<b>SUBTOTAL</b>	\$4.863,41
		<b>IVA 12 %</b>	\$583,61
		<b>TOTAL</b>	<b>\$5.447,02</b>

Como final tenemos la cantidad de la inversión total para el diseño de hidrógeno manteniendo un tal de \$11.267,22 dólares lo cual menciona en la Tabla 6.3 siguiente.

**Tabla 6.3 Costo Total de la Inversión para el Estudio.**

<b>COSTOS DE INVERSION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>IVA 12%</b>	<b>TOTAL:</b>
INVERSION DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y PRODUCCION.	1	\$5.196,61	\$623,59	\$5.820,20
INVERSION PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.	1	\$4.863,41	\$583,61	\$5.447,02
<b>TOTAL:</b>		\$10.060,02	\$1.207,20	\$11.267,22

### 6.2.2. Análisis de la inversión y recuperación.

Para el primer caso se manejó la propuesta de invertir para más horas de inversión o ingresos a la panadería. El principal beneficiario directo que se considera es para la panadería, ya que el estudio está diseñado para un horario específico que es después de las 04 de la mañana hasta

las 10 horas y como un alivio de demanda de energía de la panadería se puede decir en el pliego tarifario se mantiene un precio de kWh para el análisis de viabilidad económica y técnica.

Este análisis nos permite tomar en cuenta que la panadería no es una institución del estado sin fines de lucro por lo cual el valor a estimar es el precio de kWh no es subsidiado según establecido en el pliego tarifario lo cual se mantiene los siguientes resultados. Para iniciar este análisis se emplea la Tabla 5.2 del caso de estudio lo cual menciona la demanda diaria que se requiere para trabajar dando como resultado lo siguiente:

La demanda diaria es el valor de 35 kWh/día que son las seis horas que va a trabajar el electrolizador, y una demanda anual de 12775 kWh.

En la Tabla 6.4. siguiente se menciona la facturación anual de energía esto nos ayuda a determinar el tiempo de recuperación de la inversión, se debe conocer el costo de la energía en kWh que establece la empresa eléctrica ELEPCO SA en un pliego tarifario, suponiendo que esté conectada a una red de energía eléctrica, se especifica la facturación anual de energía que debería pagar si estuviera en la red.

**Tabla 6.4. Facturación Anual de Energía para el Establecimiento.**

DIAS	DEMANDA DIARIA (kWh/día)	DEMANDA ANUAL (kWh)	DEMANDA DE LOS EQUIPOS (kWh)	RANGO DE CONSUMO (kWh)	PRECIO TARIFA (\$/kWh)	TOTAL (\$):
365	35	12775	300	(1-300)	\$ 0,092	\$ 27,60
			12475	SUPERIOR	\$ 0,123	\$ 1.534,43
TOTAL:						\$ 1.562,03

De esta manera se obtiene una cantidad de \$ 1.562,03 como ingreso anual.

Se considera para el estudio equipos con diferente vida útil, estos equipos tienen que estar correctamente instalados para que así solo se realice un mantenimiento preventivo, el tiempo que se pronostica de los equipos son:

- Los paneles fotovoltaicos tendrían una duración más de 20 años si se tienen un mantenimiento adecuado.
- El inversor igual que los paneles fotovoltaicos tendrían unos 20 años.
- Las baterías solares dan una durabilidad de 20 años.
- Los elementos de cableados etc. Una durabilidad de unos 20 años.

Para el diseño de producción de hidrógeno o planta de producción de Hidrógeno (PPH) y almacenamiento según algunos autores mencionan que los diseños tienen una durabilidad de 10 años y después mantener un mantenimiento adecuado.

Para la realización de mantenimiento se establece implementar gastos preventivos con personal adecuada y técnica, el valor de trabajo puede redondear entre \$64,96 dólares por un día ya que los instrumentos de la pequeña subestación de la PPH no son tan grandes para demandar gente este gasto se denomina egreso y se realizara una vez al año.

Posteriormente el flujo neto es la diferencia entre los ingresos y los egresos, el ingreso para el primer año es cero lo cual se tiene invertido y no puede tener ganancias, esto se lo toma como año cero o también como año de inicio. Para los siguientes años el ingreso es de \$5 955,74 dólares como lo menciona en la Tabla 6.4 que es la facturación anual de ingresos periódicamente. Por último, a tomar en cuenta es en el año 21 años que son años de va a tener perdida en el flujo neto ya que tiene un valor negativo que es \$4 550,79 dólares que cuenta como egresos, es importante tomar en cuenta los valores obtenidos del cálculo del VAN u la TIR, donde se puede visualizar si el proyecto es rentable, si se obtiene un VAN positivo y la TIR es mayor que el COK lo cual es la tasa de descuento es de 4,96% que está establecida por el Banco Central del Ecuador. Se mencionará en la Tabla 6.5. siguiente.

**Tabla 6.5. Factibilidad Económica del Proyecto.**

PRONOSTICO DE LA INVERSION	
VAN:	\$77,01
TIR:	5%
TASA NETO:	4,96

En la Tabla 6.5 da como resultado de un VAN es positivo por lo cual es viable realizar el proyecto de estudio en la instalación comercial de panadería y pastelería, el TIR igual tiene como resultado positivo es mayor de la tasa neta lo cual se tiene como ganancia y es viable realizar su recuperación, aunque es poca al inicio, pero tiene un retorno a los 13 años de vida útil.



## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. CONCLUSIONES**

Se recolectaron informaciones relevantes sobre el hidrógeno verde como vector energético esto mediante la electrolisis del agua, lo que permitió la comprensión los procesos, ecuaciones y parámetros primordiales para la planta de producción y almacenamiento de hidrógeno como también sobre el sistema fotovoltaico.

Mediante el proceso de levantamiento de información se propuso una metodología de operación que propone la Producción de hidrógeno mediante la electrolisis del agua, este proceso se lo realiza con la intervención de la electricidad para su descomposición, y posteriormente pasado por un proceso de secado para después almacenar el hidrogeno.

En base a los datos que se obtuvo el caso de estudio, se determinó que el sistema propuesto resulta ser viable, puesto que se obtiene una potencia considerada para los sistemas fotovoltaicos, esto se puede obtener pocos paneles fotovoltaicos, aunque es una energía renovable el espacio que se debe poner es muy considerado, hay veces que el espacio no es limitado para poner el número de paneles fotovoltaicos para generar y cubrir dicha demanda al electrolizador.

En el caso de la viabilidad en los casos de estudios, mediante el cálculo manual y del software Homer Pro, se indica que el primer caso no es viable por su alto costo y su costo de operación, a esto se indica que la producción de hidrógeno tiene un costo elevado. El segundo caso tiene un escenario distinto al anterior, mediante el cálculo manual se pudo determinar una recuperación entre los 10- 15 años de su funcionamiento, puesto que produce más hidrógeno de los requerido esto gracias al sistema fotovoltaico implementado. Ante el costo de producción de hidrógeno puede disminuir

## **7.2. RECOMENDACIONES.**

Para mejorar el estudio del estado del estado de arte, se debe investigar sectores de energías renovables que estén relacionados a la parte industrial, puesto que son campos que en el futuro puede ser una de las energías que suplantán a las energías actuales ya que son temas que no tiene un alcance de interés pueda tener avances y los costos para implementación sean bajos.

En el caso del desarrollo de la metodología se recomienda el estudio de la termodinámica y la electrolisis de agua previo al diseño del diseño a la planta de producción y almacenamiento de hidrógeno, adjunto a esto se debe tomar en cuenta las propiedades principales de hidrógeno, para el parque químico que conlleva la planta se debe investigar el tratamiento de las sustancias que intervienen en la reacción del electrolisis del agua, aunque no sea dañino para el ecosistema y/o la salud.

Al momento de aplicar la metodología propuesta en un caso de estudio, se recomienda determinar el área de dimensionamiento donde va proponer el caso de estudio, el uso de software que agilicen el dimensionamiento digital y el uso de datos cercanos a la realidad recolectados, para determinar parámetros nominales se lo puede ser hacer mediante el uso de normas nacionales vigentes requeridos por la metodología.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- [1] V. M. Piquer, D. F. Rodríguez, and B. Titulación, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO ‘ON-SITE’ PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Trabajo Final de Grado Realizado por: Dirigido por.”
- [2] “TFG\_JUAN\_RODRIGUEZ\_YNYESTO\_SANCHEZ”.
- [3] A.: María, D. Rocío, B. Cervera, F. Javier, and P. Lucena, “Análisis de instalaciones de generación de hidrógeno mediante energía solar fotovoltaica.”
- [4] JUAN\_RODRIGUEZ\_YNYESTO\_SANCHEZ, “diseño de un sistema hibrido para la producción de hidrógeno”.
- [5] M. Teresa, A. Gotón, G. J. Aguilera, A. Trancón, and M. Torrey, “35 Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada.”
- [6] “Sistemas de Almacenamiento de Energía”, Accessed: jun. 07, 2022. [Online]. Available: <http://generadoras.cl/tipos-energia/sistemas-de-almacenamiento-de-energia>
- [7] J. Mires, “SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA.”
- [8] F. J. Pino and L. Sevilla, “TESIS DOCTORAL.”
- [9] R. Polanco, J. Tutores, C. López, and Á. María Lucas Yagüe, “Producción de hidrógeno vía electrolítica para su uso en automoción.”
- [10] R. Padilla and B. Mauricio, “UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN DE GRADO O DE FIN DE CARRERA (DE CARÁCTER COMPLEXIVO) INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL TEMA: ANALISIS DE LA PRODUCCION DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA Autores.”
- [11] el Ing. Hernán Martens, “Estado y situación del Hidrógeno en el mundo,” *17 de julio 2019*, 2019. <https://www.energiaestrategica.com/estado-y-situacion-de-hidrogeno-en-el-mundo/> (accessed May 18, 2022).
- [12] E. del Sistema, E. Español, J. Antonio, and A. Folgueiras, “Fuentes de energía y Protocolo de Kioto en la.”
- [13] “TFM\_Mario\_Morales\_Velasco”.

- [14] A. A. Quispe, “INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA Y TERRITORIO (ILATIT) INGENIERÍA DE ENERGÍAS PROYECTO DE INGENIERÍA: ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO,” 2016.
- [15] I. G. Garrido, R. Antonio, B. Gimeno, and J. Iborra Martínez, “Diseño y cálculo de un depósito de almacenamiento de hidrógeno para un vehículo industrial MEMORIA PRESENTADA POR.”
- [16] F. Javier, R. Balboa, M. Felipe, and R. Iglesias, “Pilas de Combustible de Alta Temperatura Reversibles.”
- [17] D. J. Durbin and C. Malardier-Jugroot, “Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 34. pp. 14595–14617, Nov. 13, 2013. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.07.058.
- [18] “Energías Renovables y Eficiencia Energética,” *21 de febrero de 2022*, Aug. 06, 2022. [https://formacion.fundacionhergar.org/maestrias/maestria-oficial-en-energias-renovables-y-eficiencia-energetica/?web\\_origen=Google\\_Ads\\_Grant\\_MaestriaEnergiaRenovable&gclid=CjwKCAjwkYGVbArEiwA4sZLuLU0R70AAz8hTtJ7hRNqPAXbXH8iN4PWBd8PUPj2Q15xqhl6JoC5PRoC5esQAvD\\_BwE](https://formacion.fundacionhergar.org/maestrias/maestria-oficial-en-energias-renovables-y-eficiencia-energetica/?web_origen=Google_Ads_Grant_MaestriaEnergiaRenovable&gclid=CjwKCAjwkYGVbArEiwA4sZLuLU0R70AAz8hTtJ7hRNqPAXbXH8iN4PWBd8PUPj2Q15xqhl6JoC5PRoC5esQAvD_BwE) (accessed jun. 07, 2022).
- [19] Lima, “GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE,” 2005.
- [20] ROTOPLAS, “Bombas de agua para casa, te mostramos la mejor opción.” <https://rotoplas.com.mx/bombas-de-agua-para-casa-te-mostramos-la-mejor-opcion/> (accessed jul. 31, 2022).
- [21] Mera, “Cómo funciona el sistema fotovoltaico,” 2022. <https://como-funciona.co/el-sistema-fotovoltaico/> (accessed jun. 15, 2022).
- [22] “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”
- [23] C. Hernando and E. González, “DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADO A LA RED SESION I.” Accessed: Aug. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.promesa.com.ec/wp-content/uploads/2020/06/Bombas-y-Plomeria-1.pdf>
- [24] Oswaldo Joshua Villao Miranda and Erick Rolando Consuegra Míte, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TEMA: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A TRAVÉS,” Guayaquil.

- [25] F. De *et al.*, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN,” 2019.
- [26] K. Vega-Carranza, J. F. Piedra-Segura, and G. Richmond-Navarro, “Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante una interfaz gráfica,” *Revista Tecnología en Marcha*, jul. 2019, doi: 10.18845/ti.v32i3.4480.
- [27] M. A. Abella and S. Fotovoltaicos, “Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos ANEXO I: Otros métodos de dimensionado de sistemas FV autónomos.”
- [28] J. Camilo Pérez Álvarez, “GUÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS Y APLICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN CREG 030 DE 2018 PARA INYECTAR EXCEDENTES DE ENERGÍA A LA RED,” 2019.
- [29] R. Fernando and G. Guevara, “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3 Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.”
- [30] E. De, P. Caratula, T. de Grado, I. Ayala, J. Roberto, and I. Efrén Barbosa, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS,” 2015.
- [31] T. del Proyecto and L. Parroquia Juan Montalvo Barrio San José, “INFORMACIÓN GENERAL ENERGÍA ELÉCTRICA A LA GRANJA AVÍCOLA ‘VILLA’ UBICADA EN LA.”
- [32] A.-J. Casa, M. Gallo, J. Roto, J. Torres, and S. Marrero, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS INGENIERÍA ELÉCTRICA ENERGIAS ALTERNATIVAS.” [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- [33] G. de Hidrógeno and A. P. De, “EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD.”
- [34] P. Tecnológica, R. Cervantes, and A. Fernando, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA ‘REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE.’”
- [35] V. Ávila Alex Geovanny director, I. Proaño Maldonado Xavier Alfonso MsC Asesor Metodológico, and L. Pallaco Venegas Mirian Susana, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI "ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA

RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO,  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE.”

- [36] Provento, “baterias-solares/200-bateria-solar-de-gel-vida-util-prolongada-150ah12vdc.”  
<https://proviento.com.ec/baterias-solares/200-bateria-solar-de-gel-vida-util-prolongada-150ah12vdc.html#product-details> (accessed Aug. 14, 2022).
- [37] “FT-CS-INV-T-50-80 KW-TRI”.
- [38] A. Pino Priego, “Electrolizadores.”
- [39]. así, “Tanque Tipo Botella Azul 300 Litros Rotoplas”, Accessed: Aug. 22, 2022. [Online].  
Available: <https://www.easy.com.co/p/tanque-tipo-botella-azul-300-litros-rotoplast/>
- [40] PAOLO, “CATALOGOS DE BOMBAS ELECTRICAS Y SUS CARACTERISTICIAS.”  
<https://www.promesa.com.ec/wp-content/uploads/2020/06/Bombas-y-Plomeria-1.pdf> (accessed Aug. 02, 2022).
- [41] Hyfindr, “Fuel Cell Stack Module PM 400 (42 KW).”  
<https://hyfindr.com/marketplace/components/fuel-cell-stack-module/fuel-cell-stack-module-pm-400-42-kw/> (accessed Aug. 22, 2022).
- [42] F. De *et al.*, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN,” 2019.
- [43] Provident, “Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalinos.” <https://proviento.com.ec/paneles-solares/223-panel-solar-400wp-24vdc-monocristalino.html> (accessed Aug. 22, 2022).
- [44] “Ficha-Técnica-Briol-RTP (1)”.

## 9. ANEXOS

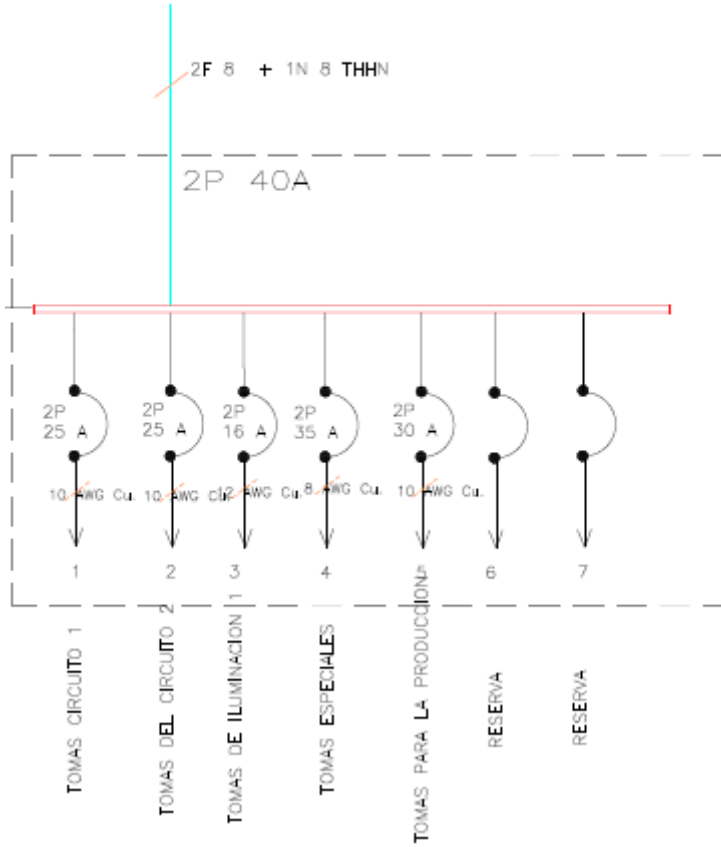
### Anexo A. Planilla para la determinación del consumo de local comercial.

Planilla Para La Determinación									
Ubicación:		Shushufindi							
USUARIO TIPO:		Local Comercial "Panadería y Pastelería"							
Ítem	Aparatos eléctricos y de alumbrado			FFUN (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (%)	TIEMPO DIARIO ESTIMADO (h)	ENERGIA CONSUMIDA ESTIMADA (kWh/mes)
	DESCRIPCION	CANTIDAD	Pn (W)						
1	Puntos de alumbrado	10	55	70	385	65	250,25	6,0	45,045
2	Refrigeradora	1	700	100	700	100	700	24,0	504
4	Televisor	2	400	80	640	60	384	2,0	23,04
5	Computador	1	250	80	200	80	160	1,0	4,8
6	Equipo de sonido	1	250	100	250	60	150	3,0	13,5
7	Lavadora + Secadora	1	3000	60	1800	30	540	1,0	16,2
8	Horno eléctrico	1	4000	40	1600	10	160	0,5	2,4
10	Tomacorrientes	6	200	80	960	60	576	1	8,64
11	Mostradoras de Pastelería de diseño	2	800	100	1600	40	640	24	460,8
12	Batidora	1	800	60	480	40	192	1	5,76
13	Masadora	1	800	60	480	40	192	1	5,76
			11255		9095		3944		<b>1089,9</b>

Anexo B. Esquema unifilar de la carga del local comercial.

# ESQUEMA UNIFILAR

## CENEL SUCUMBIOS





Anexo C. planilla del Local comercial de Energía eléctrica mensual

**Banco**

**Banco Público Estratégico Corporación Nacional de Electricidad CNEC**

**SUMINISTRO:** **BSEB** TORRES JIMINI ALLEN ANTONIO

Código Único de Servicio Nacional: 30000440 Cédula (R.U.C.): 170304200 Código Postal:

Dirección servicio: ORENTAL DE SAN BUENAVENTURA

Plan/Gestión/Grupo: 10 03-40-020-5872 Local: 713-Comercial del Comercio (San Buenav.)

Provincia / Cantón / Parroquia: SUCUMBIOS / CHUPINES / S-LISH-FINCA SAN CARLOS

Dirección telefónica: Comex

**FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

Medidor: 5050S250-SMA-AB Desde: 2022-07-04 Hasta: 2022-08-03 Día Facturado: 03 Tipo consumo: 13

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
<b>SERVICIO ELÉCTRICO</b>					
Consumo COMERCIO					
CONSUMO DE ILUMINACION					
RENTAS					
ALUMBRADO PÚBLICO					
<b>ALUMBRADO PÚBLICO</b>					
OTROS PAGOS DE SERVICIOS					
ALUMBRADO PÚBLICO					
OTROS (1.3)					
<b>TOTAL (IVA 1.3)</b>					<b>127.04</b>

**PENALIZACIÓN DEL CONSUMO:**

Penalización por Consumo Excesivo

**TOTAL**

**VALORES PENDIENTES:**

VALOR 479.68

**FORMA DE PAGO:**

OTROS CON VINCULACIÓN DEL SISTEMA FACTURADO VALOR 119.55

**TOTAL**

Reserva Eléctrica - Aluminio Plomo 717.64

Valores Pendientes 479.68

**TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (IVA)** 664.12

**IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN**

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

**TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBAS** 8.36

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

**TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBAS** 8.36

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

**TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBAS** 8.36

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

IMPORTE DEL PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBAS DEL CANTÓN

**TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBAS** 8.36

**FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

Medidor: 5050S250-SMA-AB Desde: 2022-07-04 Hasta: 2022-08-03 Dias Facturados: 30 Tipo consumo:

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 00h - 24h (L-D)	64228.00	63119.00	1109	KWh	110.93

**Consumos**

**SERVICIO ELÉCTRICO**

VALOR CONSUMO: 110.93

COMERCIALIZACION IVA (0%)

SERVICIO ELÉCTRICO

ALUMBRADO PÚBLICO

**ALUMBRADO PÚBLICO**

OTROS PAGOS:

INTERES MORA

**OTROS (1.3):**

**VALOR**

**Anexo C. Ficha técnica de las Baterías de empresa Proviento.**



**Referencia** HTB-12-150

**En stock** 50 Artículos

**Ficha técnica**

Dimensiones	48 x 24 x 17 cm
Peso	45
Tecnología	GEL
Voltaje	12V
Capacidad	150ah C20
Ciclos De Vida Útil A 30% DOD	2600
Ciclos De Vida Útil A 50% DOD	1600
Ciclos De Vida Útil A 100% DOD	500
Origen	China

**Anexo D. Secador Refrigerativo SECOTEC**

**✪ Tratamiento de aire – TA 5**  
**Secador Refrigerativo SECOTEC® Cíclico**

**Imagen del equipo:**

(Solo como referencia)



**Características**

Capacidad volumétrica:	20 SCFM
Temperatura de punto de rocío:	3°C
Caída de presión:	0.8 PSIG
Presión de operación máxima:	230 PSIG
Refrigerante:	R 134a
Voltaje:	115V/1 Fase/60Hz
Conexión de aire comprimido:	½" NPT
Conexión de condensados:	¼" NPT
Control de ahorro de energía:	Masa Térmica
Material sistema separador	Zinc
Dren de condensados	Flotador
Dimensiones: (L x A x H)	0.89m x 0.51m x 0.64m
Peso:	78 Kg

¿Dónde se necesita aire seco?

**Anexo E. Ficha técnica de los paneles fotovoltaicos de la empresa Proviento.**

**Descripción      Detalles del producto      Adjuntos      Comentarios**



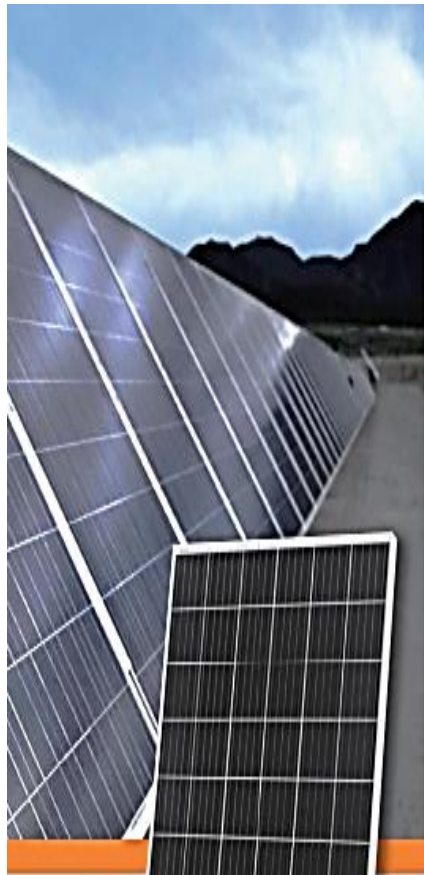
**Referencia** RS7E-230M

**En stock** 99 Artículos

**Ficha técnica**

Tipo	Monocrystalino
Modificacion	36 Celulas, 4 x 9, 5 Bushbars
Voltaje Circuito Abierto Voc	24.10
Voltaje Potencia Maximo Vmpp	20.39
Corriente Circuito Cerrado Isc	11.99
Corriente Potencia Maxima Imp	11.39
Eficiencia Panel	21.06 %
Dimensiones	1560x700x35mm
Peso	12 kg

Anexo F. Ficha técnica de los paneles fotovoltaicos.



s from

combined with  
ad capacity resistance.

terminal power

Monocrystalline Solar Module

SPECIFICATIONS

Dimensions	1979 x 1002 x 40mm
Weight	22.5 kg
Frame	Aluminium hollow-chamber frame on each side
Glass	Low-iron and tempered glass 3.2 mm
Cells	72 pcs Mono PERC (158.75 x 158.75 mm)
Cell Embedding	EVA
Back-Foil	FEVE / PET / FEVE
Junction Box	TUV certified
Cable	4 mm <sup>2</sup> solar cable 2 x 900 mm or Customized Length

Temperature Range	-40°C ... +85°C
Load Capacity	5400Pa(IEC 61215)/40mm

Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C
Product warranty	10 years
Power Guarantee	10 years 90% 25 years 80%

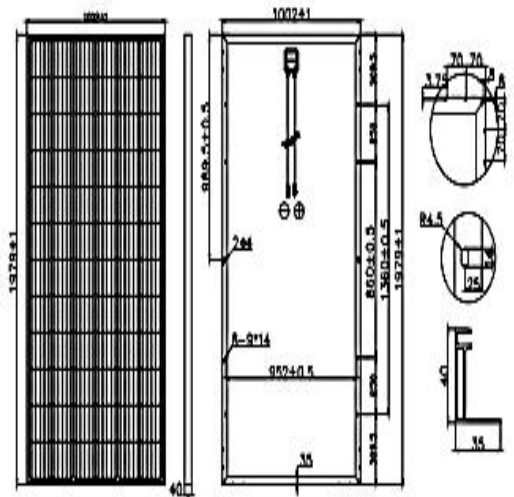
Packaging Configuration  
(Two pallets = One stack)  
27pcs/pallet, 54pcs/stack,  
594pcs/40'HQ Container

CHARACTERISTICS

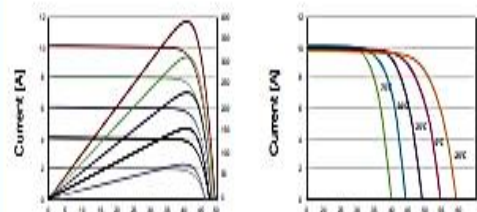
Max. System Voltage	1000VDC
Temperature-Coefficient $V_{oc}$	+0.02973%/°K
Temperature-Coefficient $V_{sc}$	-0.38038%/°K
Temperature-Coefficient $P_{mp}$	-0.57402%/°K
NOCT***	45°C

CERTIFICATES

IEC 61215 edition 2 (TUV Nord)



CURRENT-VOLTAGE CURVES



Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance

Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1,000 W/m<sup>2</sup>

ESPSG TYPE	380M	385M	390M	395M	400M
Power Class	380Wp	385Wp	390Wp	395Wp	400Wp
Max. Power Voltage ( $V_{mp}$ * at STC**)	40.5V	40.8V	41.1V	41.4V	41.7V
Max. Power Current ( $I_{mp}$ ) at STC	9.39A	9.44A	9.49A	9.55A	9.60A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ) at STC	48.9V	49.1V	49.3V	49.5V	49.8V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) at STC	9.75A	9.92A	10.12A	10.23A	10.36A
Module Efficiency	19.16%	19.42%	19.67%	19.92%	20.17%

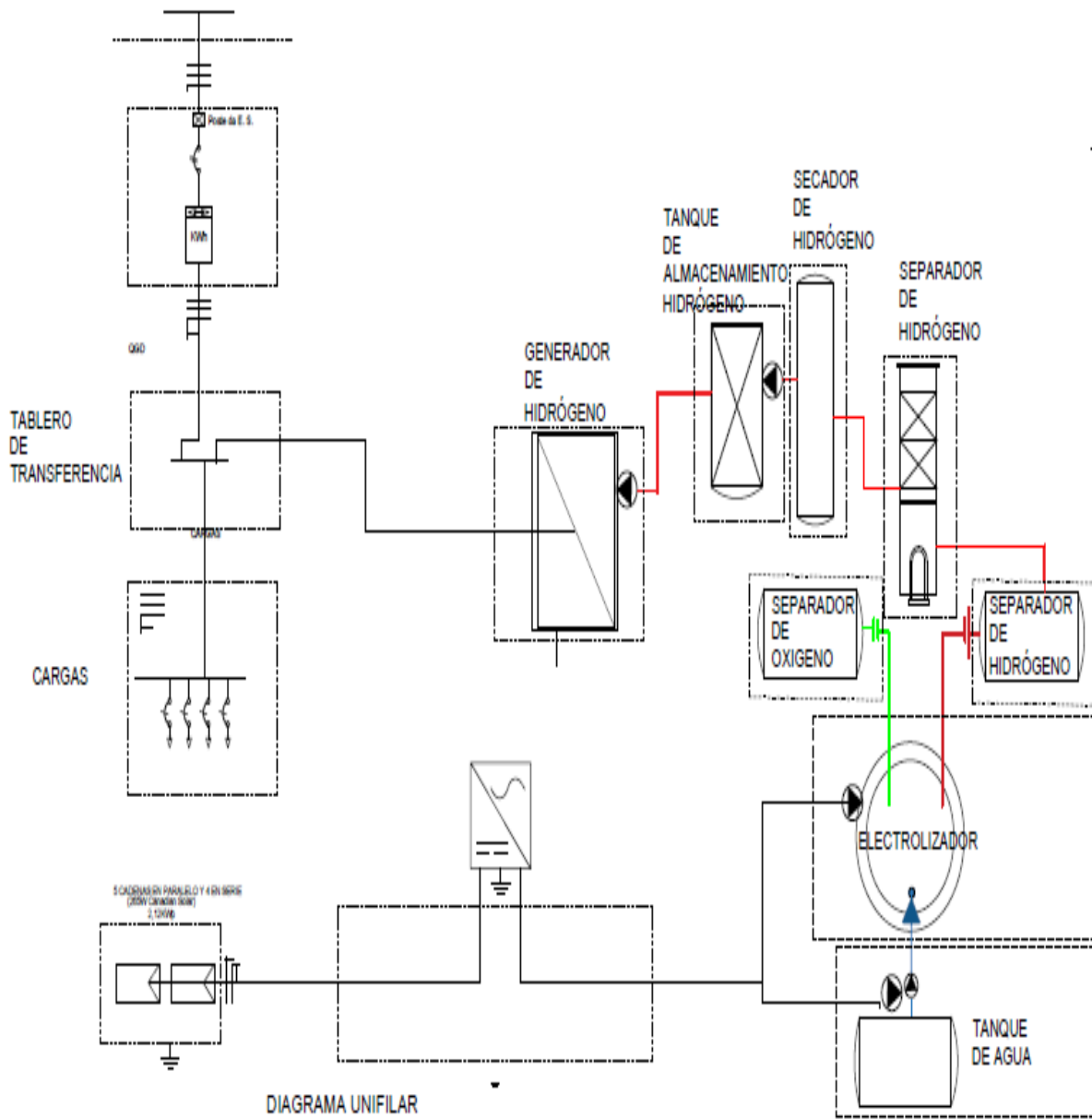
\* MPP: Maximum Power Point

**Anexo G. Costos y flujos para la inversión primer Caso y segundo caso.**

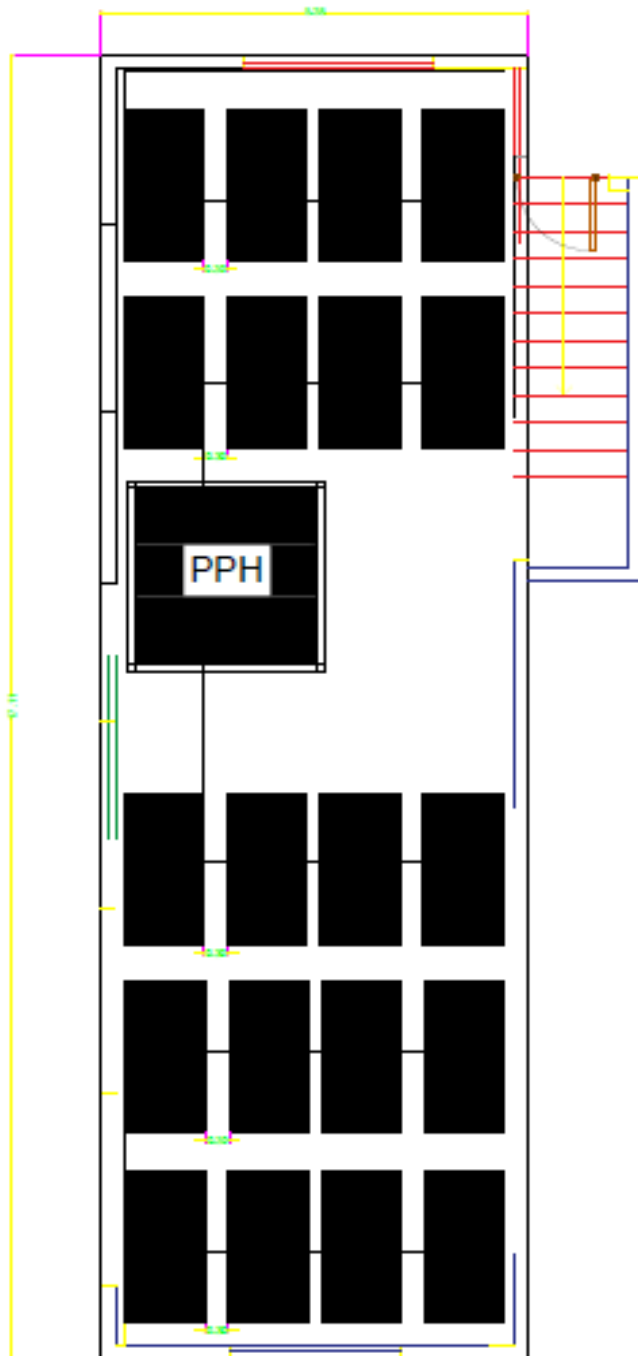
Tabla 8.1. Flujos netos del primer caso.

AÑOS	INGRESOS:	EGRESOS COSTOS:	FLUJO NETO
0		\$11.267,22	-\$11.267,22
1	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
2	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
3	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
4	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
5	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
6	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
7	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
8	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
9	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
10	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
11	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
12	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
13	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
14	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
15	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
16	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
17	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
18	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
19	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
20	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
21	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
22	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
23	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
24	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
25	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
26	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
27	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
28	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
29	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22
30	\$ 1.068,18	\$64,96	\$1.003,22

Anexo E. Diagrama de producción y almacenamiento de hidrógeno.

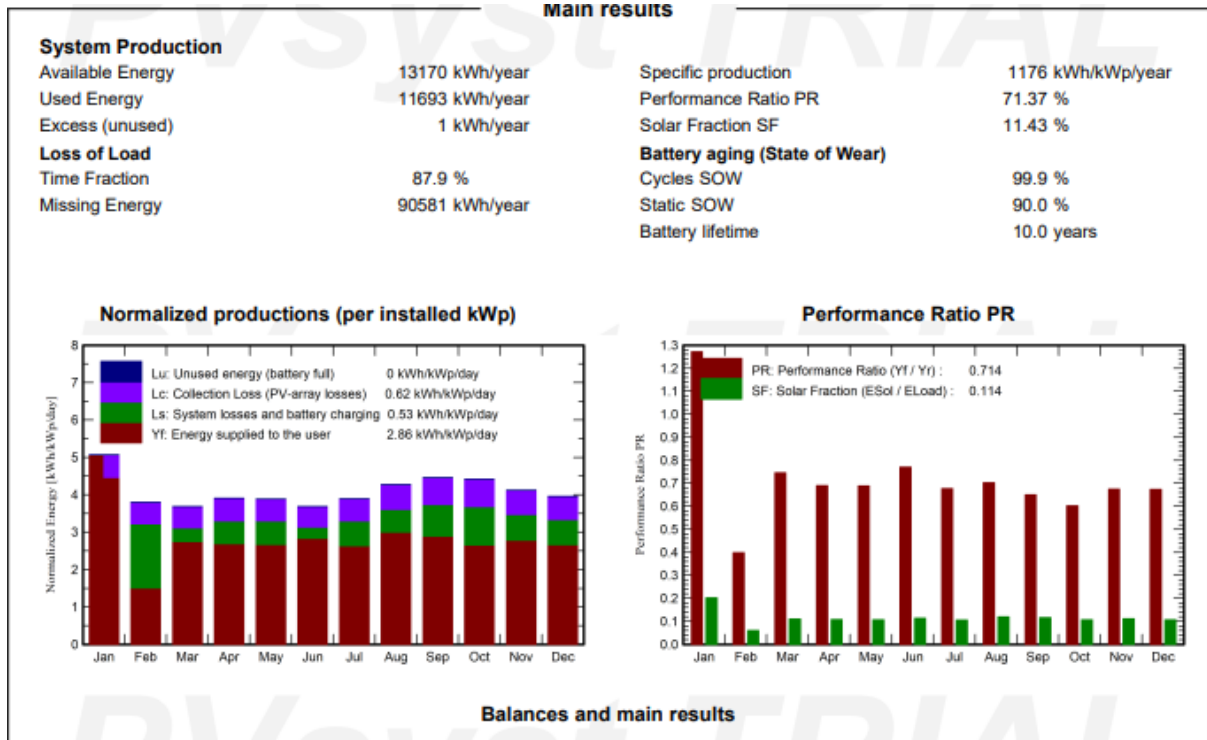


Anexo F. Diagrama espacio para el caso uno del bloque B para el sistema Fotovoltaico.





Anexo H. Diagrama de resultados en el sistema de fotovoltaicos del caso 1 utilizando PVsyst



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	131.4	120.7	1117	0.098	6927	1760	8686	0.203
February	111.4	104.2	961	0.097	7371	474	7846	0.060
March	116.6	112.0	1027	0.000	7731	955	8686	0.110
April	115.8	115.1	1054	0.000	7500	906	8406	0.108
May	117.8	118.1	1091	0.000	7757	929	8686	0.107
June	107.7	108.5	1002	0.000	7452	954	8406	0.114
July	116.9	118.4	1092	0.049	7771	915	8686	0.105
August	129.3	130.1	1196	0.049	7645	1042	8686	0.120
September	135.9	131.3	1198	0.000	7432	974	8406	0.116
October	143.2	134.3	1219	0.096	7763	923	8686	0.106
November	132.3	121.1	1112	0.138	7470	936	8406	0.111
December	131.4	119.9	1100	0.049	7761	926	8686	0.107
Year	1489.7	1433.7	13170	0.575	90581	11693	102274	0.114

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

### Anexo I. Homer pro sistema fotostático

Simulation Results

System Architecture: System Converter (2.50 kW) HOMER Cycle Charging  
 Generic flat plate PV (8.50 kW) Generic Electrolyzer (2.10 kW)  
 Generic Small Genset (size-your-own) (2.00 kW) Hydrogen Tank (0.500 kg)

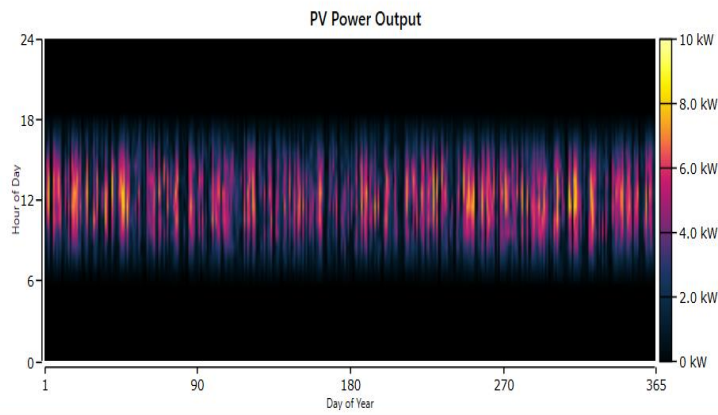
Total NPC:	\$13,741.07
Levelized COE:	\$0.2376
Operating Cost:	\$53.27

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Hydrogen Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration

Generic flat plate PV System Converter Generic Electrolyzer Hydrogen Tank Emissions

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	8.50	kW
Mean Output	1.16	kW
Mean Output	27.7	kWh/d
Capacity Factor	13.6	%
Total Production	10,122	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	8.08	kW
PV Penetration	183	%
Hours of Operation	4,380	hrs/yr
Levelized Cost	0.0564	\$/kWh



Create Proposal



Time Series Plot

Other...

**Anexo J. Homer pro sistema de generación de hidrogeno**

Simulation Results x

System Architecture:	System Converter (2.50 kW) HOMER Cycle Charging	Total NPC: \$13,741.07
Generic flat plate PV (8.50 kW)	Generic Electrolyzer (2.10 kW)	Levelized COE: \$0.2376
Generic Small Genset (size-your-own) (2.00 kW)	Hydrogen Tank (0.500 kg)	Operating Cost: \$53.27

---

Generic flat plate PV System Converter Generic Electrolyzer Hydrogen Tank Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Hydrogen Fuel Summary **Generic Small Genset (size-your-own)** Renewable Penetration

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of Operation	7,759	hrs/yr	Electrical Production	4,419	kWh/yr	Fuel Consumption	0	kg
Number of Starts	329	starts/yr	Mean Electrical Output	0.569	kW	Specific Fuel Consumption	0	kg/kWh
Operational Life	1.93	yr	Minimum Electrical Output	0.500	kW	Fuel Energy Input	0	kWh/yr
Capacity Factor	25.2	%	Maximum Electrical Output	1.64	kW	Mean Electrical Efficiency	0	%
Fixed Generation Cost	0.00689	\$/hr						
Marginal Generation Cost	0	\$/kWh						

**Generator Power Output**

Create Proposal
⚠
Time Series Plot
⌵ Other...

### Anexo K. Homer pro sistema del electrolizador

Simulation Results

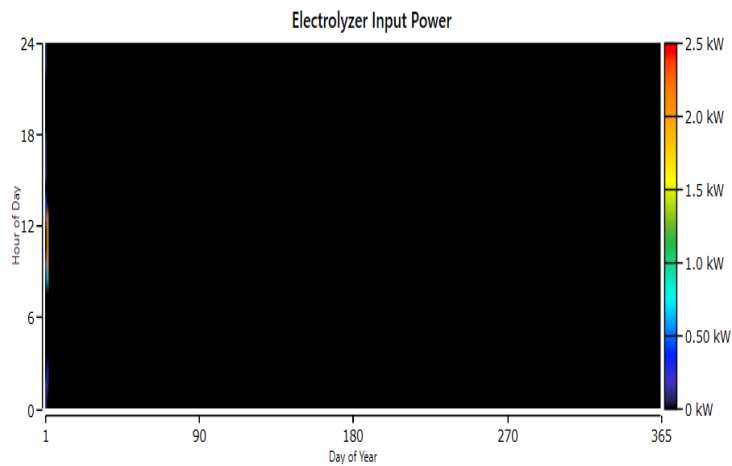
System Architecture: System Converter (2.50 kW) HOMER Cycle Charging  
 Generic flat plate PV (8.50 kW) Generic Electrolyzer (2.10 kW)  
 Generic Small Genset (size-your-own) (2.00 kW) Hydrogen Tank (0.500 kg)

Total NPC:	\$13,741.07
Levelized COE:	\$0.2376
Operating Cost:	\$53.27

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Hydrogen Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration  
 Generic flat plate PV System Converter Generic Electrolyzer Hydrogen Tank Emissions

Quantity	Value	Units
Rated capacity	2.10	kW
Mean input	0.00132	kW
Minimum input	0	kW
Maximum input	2.10	kW
Total input energy	11.6	kWh/yr
Capacity Factor	0.0631	%

Quantity	Value	Units
Mean output	0.0000290	kg/hr
Minimum Output	0	kg/hr
Maximum Output	0.0453	kg/hr
Total production	0.250	kg/yr
Specific consumption	46.4	kWh/kg



Create Proposal



Time Series Plot

Other...

**Anexo L. Homer pro sistema de almacenamiento**

Simulation Results

System Architecture: System Converter (2.50 kW) HOMER Cycle Charging  
 Generic flat plate PV (8.50 kW) Generic Electrolyzer (2.10 kW)  
 Generic Small Genset (size-your-own) (2.00 kW) Hydrogen Tank (0.500 kg)

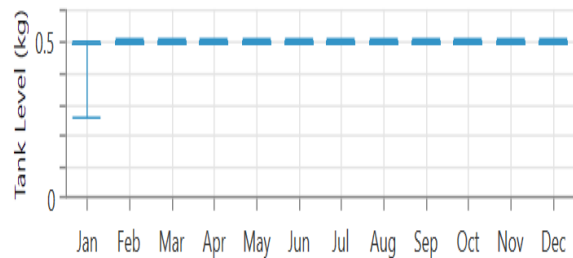
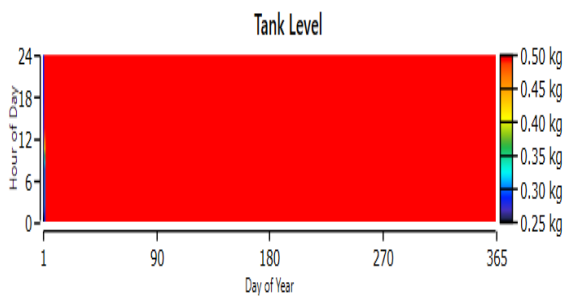
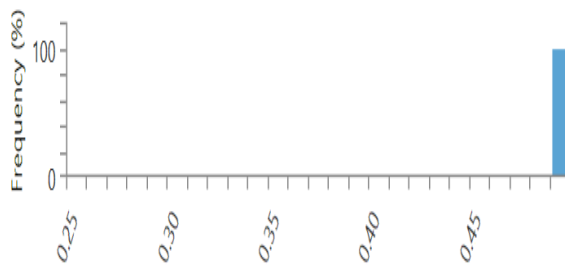
Total NPC:	\$13,741.07
Levelized COE:	\$0.2376
Operating Cost:	\$53.27

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Hydrogen Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration

Generic flat plate PV System Converter Generic Electrolyzer Hydrogen Tank Emissions

Quantity	Value	Units
Hydrogen storage capacity	0.500	kg
Energy storage capacity	16.7	kWh
Tank autonomy	26.5	hr

Quantity	Value	Units
Content at beginning of year	0.250	kg
Content at end of year	0.500	kg



Create Proposal





Time Series Plot

Other...

Anexo M. ficha técnica separador de gas

		Dimensions: Type L Gas/Liquid Separators (in/mm)																			
Size	1-1/2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	36	42
A	2000	2200	2200	2400	3000	3400	3600	4600	5200	6000	6600	7400	8000	8600	9600	10600	12000	13200	14200	16600	19000
	508	559	559	610	762	864	914	1168	1321	1524	1676	1880	2032	2184	2438	2692	3049	3353	3607	4216	4826
B	1500	1600	1600	1800	2200	2600	2800	3600	4200	5000	5600	6400	6800	7400	8400	9400	10400	11400	12200	14400	16600
	381	406	406	457	559	660	711	914	1067	1270	1422	1626	1727	1880	2134	2388	2642	2896	3099	3658	4216
C	300	300	300	300	400	400	400	500	500	500	500	500	600	600	600	600	800	900	1000	1100	1200
	76	76	76	76	102	102	102	127	127	127	127	127	152	152	152	203	229	254	279	279	305
D	556	633	633	833	1075	1275	1400	1600	2000	2400	2800	3000	3600	3600	4200	4200	4800	5400	5400	6600	7800
	141	168	168	219	273	324	356	406	508	610	711	762	914	914	1067	1067	1219	1372	1372	1676	1981
E	1400	1450	1450	1650	1750	1950	2100	2400	2700	3000	3300	3500	3900	4200	4600	4700	5000	5400	5500	6300	7000
	356	368	368	419	445	495	533	610	666	762	838	899	991	1067	1168	1194	1270	1372	1397	1600	1778
F	850	900	900	1000	1200	1300	1400	1600	1900	2000	2300	2400	2700	2800	3100	3100	3600	3800	4300	4800	5600
	216	229	229	254	305	330	356	406	483	508	584	610	666	711	787	787	914	965	1092	1219	1422
G	675	675	675	675	675	675	675	788	788	788	788	788	913	913	1025	1025	1025	1025	1025	1188	1188
	171	171	171	171	171	171	171	200	200	200	200	198	198	232	232	260	260	260	260	302	302
H	238	288	288	350	450	556	633	833	1075	1075	1275	1400	1600	1800	2000	2000	2200	2200	2400	3000	3600
	60	73	73	89	114	141	168	219	273	273	324	356	406	457	508	508	559	559	610	762	914
J	2100	2300	2300	2500	3200	3600	4000	4800	5800	6500	7100	8000	8600	9200	10300	11400	12800	14000	15200	17800	20200
	533	584	584	635	813	914	1016	1219	1473	1651	1803	2032	2184	2337	2616	2896	3251	3556	3861	4521	5131
K	1550	1700	1700	1900	2400	2800	3100	4000	4700	5400	6000	6800	7700	8300	9000	10100	11200	12200	13600	15800	18400
	394	432	432	483	610	711	787	1016	1194	1372	1524	1727	1956	2108	2286	2555	2845	3099	3454	4013	4674
L	633	833	833	1075	1400	1600	1800	2000	2400	3000	3600	4000	4200	4800	4800	5400	6000	6600	7200	7800	9600
	168	219	219	273	356	406	457	508	610	762	914	1016	1067	1219	1219	1372	1524	1676	1829	1981	2438

Anexo N. ficha técnica de electrolizador.

	<p><b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b></p> <p><b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b></p>	
---	---	---

Modelo del Fabricante	Tecnología	Ratio de Producción de Hidrógeno				Presión de Producción de Hidrógeno	Energía Necesaria		Potencia Requerida	Pureza del H2	Vida Útil
		Nm3/h		kg/h		psig	kWh/Nm3	kWh/kg	kW	%	Años
		Min	Max	Min	Max						
Avalance Hydrofiller 15	Unipolar Alkaline		0,4		0,04	Por encima de 10.000	5.100	56,4	2	99,7	
Avalance Hydrofiller 50	Unipolar Alkaline		1,3		0,1	Por encima de 10.000	5.300	59,2	7	99,7	
Avalance Hydrofiller 175	Unipolar Alkaline		4,6		0,4	Por encima de 10.000	5.400	60,5	25	99,7	
Norks Atmospheric Type N° 5010 (4000 Amp DC)	Bipolar Alkaline	0	50	0	4,5	0,3	4,8	53,4	240	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5010 (5150 Amp DC)	Bipolar Alkaline	0	50	0	4,5	0,3	4,8	53,4	240	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5020 (4000 Amp DC)	Bipolar Alkaline	50	150	4,5	13,5	0,3	4,8	53,4	720	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5020 (5150 Amp DC)	Bipolar Alkaline	50	150	4,5	13,5	0,3	4,8	53,4	720	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5030 (4000 Amp DC)	Bipolar Alkaline	150	300	13,5	27,0	0,3	4,8	53,4	1440	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5030 (5150 Amp DC)	Bipolar Alkaline	150	300	13,5	27,0	0,3	4,8	53,4	1440	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5040 (4000 Amp DC)	Bipolar Alkaline	300	377	27,0	33,9	0,3	4,8	53,4	1810	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norks Atmospheric Type N° 5040 (5150 Amp DC)	Bipolar Alkaline	300	485	27	43,6	0,3	4,8	53,4	2328	99,9 ± 0,1	Entre 7 y 10
Norsk HPE 10	Bipolar Alkaline		10		0,9	232	48.000	53,4	48	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 12	Bipolar Alkaline		12		1,1	232	48.000	53,4	58	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 16	Bipolar Alkaline		16		1,4	232	48.000	53,4	77	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 20	Bipolar Alkaline		20		1,8	232	48.000	53,4	96	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 24	Bipolar Alkaline		24		2,2	232	48.000	53,4	115	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 30	Bipolar Alkaline		30		2,7	232	48.000	53,4	144	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 40	Bipolar Alkaline		40		3,6	232	48.000	53,4	192	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 50	Bipolar Alkaline		50		4,5	232	48.000	53,4	240	99,8	Entre 7 y 10
Norsk HPE 60	Bipolar Alkaline		60		5,4	232	48.000	53,4	288	99,8	Entre 7 y 10
Proton HOGEN H Series	PEM	0	6	0	0,5	218	6,3	70,1	38	99,999	
Proton HOGEN 20	PEM		0,5		0,04	200	5,6	62,3	3	99,999	Entre 5 y 7
Proton HOGEN 40	PEM		1		0,1	200	5,6	62,3	6	99,999	Entre 5 y 7
Proton HOGEN 380	PEM		10		0,9	200	6,3	70,1	63	99,999	Entre 5 y 7
Stuart IMET 1000, 1 celda, 1000 cm3	Bipolar Alkaline	3	5	0,3	0,4	360	4,8	53,4	24	99,997	10
Stuart IMET 1000, 2 celdas, 1000 cm3	Bipolar Alkaline	16	30	1,4	2,7	360	4,8	53,4	144	99,997	10
Stuart IMET 1000, 3 celdas, 1000 cm3	Bipolar Alkaline	31	45	2,8	4	360	4,8	53,4	216	99,997	10
Stuart IMET 1000, 4 celdas, 1000 cm3	Bipolar Alkaline	64	60	5,8	5,4	360	4,8	53,4	288	99,997	10
Stuart IMET 1000, 6 celdas, 1000 cm3	Bipolar Alkaline		90		8,1	360	4,8	53,4	360	99,997	10
Stuart IMET 300, 1 celdas, 300 cm3	Bipolar Alkaline	1	3	0,1	0,3	360	4,9	54,5	15	99,997	10
Teledyne EC-500	Bipolar Alkaline		28		2,5	60 - 115	5,6	62,3	157	99,9998	15
Teledyne EC-600	Bipolar Alkaline		33,6		3,0	60 - 115	5,6	62,3	188	99,9998	15
Teledyne EC-750	Bipolar Alkaline		42		3,8	60 - 115	5,6	62,3	235	99,9998	15
Teledyne HM-50	Bipolar Alkaline		2,8		0,3	100	6,1	67,9	17	99,9998	15
Teledyne HM-100	Bipolar Alkaline		5,6		0,5	100	5,7	63,4	32	99,9998	15
Teledyne HM-125	Bipolar Alkaline		7		0,6	100	5,7	63,4	40	99,9998	15
Teledyne HM-150	Bipolar Alkaline		8,4		0,8	100	5,7	63,4	48	99,9998	15
Teledyne HM-200	Bipolar Alkaline		11,2		1	100	5,3	59	59	99,9998	15

Figura 24: Fabricantes y modelos de electrolizadores en el mercado. Fuente: National Renewable Energy Laboratory

## Anexo O.



## Document Information

Analyzed document	tesis_Tisalema_Torres.pdf (D143445323)
Submitted	2022-08-31 17:28:00
Submitted by	xxnapoxx
Submitter email	gabriel.pesantes3889@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	gabriel.pesantes3889.utc@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6823/1/T-001523.pdf">http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6823/1/T-001523.pdf</a> Fetched: 2022-01-07 20:16:25		7
<b>SA</b>	<b>2021-1 Sofia D Apollonio H. MT Final.pdf</b> Document 2021-1 Sofia D Apollonio H. MT Final.pdf (D111390579)		1
<b>SA</b>	<b>LUIS PESANTEZ- PILA H2 IN CAR.pdf</b> Document LUIS PESANTEZ- PILA H2 IN CAR.pdf (D10574015)		6
<b>W</b>	URL: <a href="https://como-funciona.co/el-sistema-fotovoltaico/">https://como-funciona.co/el-sistema-fotovoltaico/</a> Fetched: 2022-08-31 17:29:00		3
<b>SA</b>	<b>PFM MII Lucía Álvaro Álvarez.pdf</b> Document PFM MII Lucía Álvaro Álvarez.pdf (D56298626)		2
<b>SA</b>	<b>PIM_TLisboa2022.pdf</b> Document PIM_TLisboa2022.pdf (D142061842)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://rotoplas.com.mx/bombas-de-agua-para-casa-te-mostramos-la-mejor-opcion/">https://rotoplas.com.mx/bombas-de-agua-para-casa-te-mostramos-la-mejor-opcion/</a> Fetched: 2022-08-31 17:29:00		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://hyfindr.com/marketplace/components/fuel-cell-stack-module/fuel-cell-stack-module-pm-400-42-kw/">https://hyfindr.com/marketplace/components/fuel-cell-stack-module/fuel-cell-stack-module-pm-400-42-kw/</a> Fetched: 2022-08-31 17:29:00		1

## Entire Document